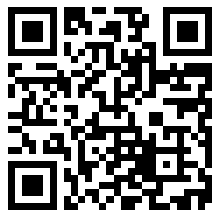
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

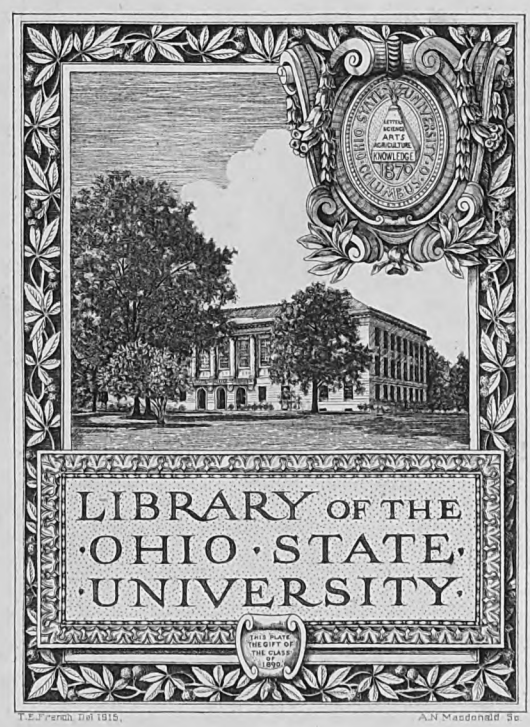
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS

LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS A ÉTÉ RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886

QUATRIÈME SÉRIE

TOME VII — ANNÉE 1927

UNIVERSITY

PARIS

ETIENNE CHIRON, ÉDITEUR

40, RUE DE SEINE

1927

Digitized by Google

TK2
S66
Ser. 4
v.7, pt.1

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Assemblée générale du samedi 8 janvier 1927, p. 6.
Réunion ordinaire mensuelle du samedi 8 janvier 1927, p. 6.
Admission des membres titulaires, p. 7.
Membres décédés, p. 9.
Prix décernés par l'Académie des Sciences aux membres de la Société, p. 9.
Allocutions du Président sortant et du Président entrant, p. 10.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Perfectionnements de la signalisation dans les chemins de fer par l'emploi des signaux lumineux de jour et de nuit (M. PRACHE), p. 13. — Discussions de la Semaine d'octobre 1926 ; allocution de M. LEGOUEZ, président de la Société française des Electriciens, p. 37. — 1re Section : Sommaire, p. 38 ; Machines à collecteurs à courants alternatifs polyphasés (MM. GRATZMULLER, DARRIEUS), p. 39. — Pertes dans les machines électriques (MM. ROTH, BELFILS, GRATZMULLER, DARRIEUS, LE MONNIER), p. 51. — Nouvelle contribution expérimentale à l'étude des surtensions dans les transformateurs (MM. BUNET, DE PISTOYE, GIRAULT, ROTH, KOPELIOVITCH, FALLOU, BRYLINSKI, DARRIEUS, DESSUS), p. 70. — Procédés statiques d'équilibrage d'une charge monophasée dans un réseau triphasé (MM. ILIOVICI, GENKIN, DARRIEUS, ROTH), p. 89.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS :

1° Renouvellement partiel du Bureau et du Comité par l'Assemblée générale du 8 janvier 1927, p. 92 ;
2° Réunion du Conseil d'administration de la Société pour favoriser le développement du haut enseignement de l'Electrotechnique en France, p. 94.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 95 ; texte, p. 95.

TRAVAUX DU GROUPE DU SUD-OUEST :

Sommaire, p. 118 ; texte, p. 118.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 120.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 121.

IL Y A TRENTE ANS :

Sommaire, p. 123 ; texte, p. 123.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

341646

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

du samedi 8 janvier 1927

Présidence de M. R. LEGOUEZ.

L'Assemblée est ouverte à 16 h. 15.

M. le Président invite les membres qui n'auraient pas envoyé leur vote pour le renouvellement partiel du Bureau, du Comité et de la Commission des comptes à déposer leur bulletin dans l'urne.

MM. les scrutateurs dépouillent le scrutin dont M. le Président proclame le résultat (voir p. du présent Bulletin).

L'Assemblée générale est levée à 16 h. 45.

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du samedi 8 janvier 1927

La séance est ouverte à 16 h. 45.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Abadie (Pierre-Louis-François), élève à l'E.S.E., Lycée Michelet, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Armengaud (Jacques-Gaston), élève à l'E.S.E., 21, boulevard Poissonnière, à Paris (2e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Arnaud (Marcel-Denis), élève à l'E.S.E., 16, rue Eugène-Varlin, à Paris (10e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bailly (Robert-Maxime), élève à l'E.S.E., 80, rue de Montreuil, à Paris (11e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Barbé (Georges-Dominique), élève à l'E.S.E., 62 *bis*, avenue J.-B. Clément, à Boulogne-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Blanc (Eugène-Pierre-Hippolyte), élève à l'E.S.E., 8, avenue Lamartine, Le Perreux (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Digitized by Google

Bordat (Louis-Gabriel), élève à l'E.S.E., 34, passage Châtelet, à Paris (17e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Boudier (Jean-Ulysse-Constant), élève à l'E.S.E., 55, avenue Jean-Jaurès, à Aubervilliers (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bouquet (Louis-Pierre-Baptiste-Ernest), élève à l'E.S.E., 52, rue des Volontaires, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bourrand (Michel-Joseph), ingénieur des Arts et Métiers, élève à l'E.S.E., Cité Universitaire, 21, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bravais (Jehan-Albert-Raoul), élève à l'E.S.E., 8, rue Jasmin, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Brocart (Georges-Maurice), ingénieur I.D.N., élève à l'E.S.E., 33, rue J.-J. Rousseau, à Hellemmes (Nord). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Cachera (Roger-Jules), élève à l'E.S.E., 4, rue Albert-Ier, à Parmain (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Caïn (Robert), élève à l'E.S.E., 223, rue d'Alésia, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Cassan (Roger-Louis-Marius), élève à l'E.S.E., 115, avenue Emile-Zola, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Charlet (André-Lucien), ingénieur I.E.G., élève à l'E.S.E., 34 *bis*, rue Carnot, à Noisy-le-Sec (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Chevet (Georges), élève à l'E.S.E., 55, rue Camille-Desmoulins, à Issy-les-Moulineaux (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Cornille (Pierre-Emile), élève à l'E.S.E., 42, rue Monge, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Costa (Francisco), ingénieur-électricien auxiliaire de Stavana Electric R. L. et P. Co, 2 y Calzada Vedado ; Habana (Cuba). Adresse postale : appartado 570 à Habana. — Présenté par MM. Janet et E. de Bernard

Coster (André-Albert de), élève à l'E.S.E., 72, rue des Martyrs, à Paris (9e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Deneux (Roger-Léon), élève à l'E.S.E., 84, rue Lauriston, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Devaux (André-Léon-François), élève à l'E.S.E., 6, rue Ernest-Renan, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Dubut (Pierre-Alfred-Marie-Jules), ingénieur des Arts et Manufactures, élève à l'E.S.E., 77, rue Charlot, à Paris (3e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Etienne (Pierre-André), élève à l'E.S.E., 97, rue de Sèvres, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Faure (Pierre), élève à l'E.S.E., 1 *bis*, rue Plumet, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Fortin (Jean-René), lieutenant de vaisseau délégué à l'E.S.E., 8, square du Champ-de-Mars, à Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gatelet (Roland-Henri-Gilbert), élève à l'E.S.E., 26, rue du Général-Beuret, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gaudart (André-Antoine), élève à l'E.S.E., Villa « Les Cigales », à Cannes (Alpes-Maritimes). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Godin (Jacques-Henri-Edouard), ingénieur en chef de l'Union des Producteurs d'Electricité des Pyrénées Occidentales, 9, rue Davioud, à Paris (16e). — Présenté par MM. Brylinski et Neu.

Goicoechea y Plaza (Luciano), professeur à l'Université de La Havane J. N° 35 esq à 17. Vedado, Habana (Cuba). — Présenté par MM. Janet et E. de Bernard.

Guerrier (Alexandre-Louis), élève à l'E.S.E., 53, rue Bargue, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Guillaume (Paul-Octave), élève à l'E.S.E., 41, rue Félix-Faure, à Enghien (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Guillaume (Edmond-Bruno-Antoine), élève à l'E.S.E., 96, rue Desaudrouin, à Fresnes (Nord). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Hainne (Emile-Stéphane), directeur adjoint de l'exploitation de la Société du Sud-Lumière, 85, Grande-Rue, à Bourg-la-Reine. Domicile : 112, Grande-Rue, à Bourg-la-Reine (Seine). — Présenté par MM. Hainglaise et Farlet.

Digitized by Google

Kalin (André), élève à l'E.S.E., 50, Chaussée-de-l'Etang, à Saint-Mandé (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Kraemer (Gérard-Israël), constructeur d'appareils de T.S.F. et signalisation, 11, rue de la Py, à Paris (20e). — Présenté par MM. Douchet et Lejeune.

Krieger (Louis-Antoine-Jules-Tony), directeur du Laboratoire central de la Compagnie Thomson-Houston, 3, rue Ampère, à Paris (17e). — Présenté par MM. Chaumat et Bunet.

Lafitte (Philippe-René-Georges), élève à l'E.S.E., 32, rue des Mathurins, à Paris (8e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lansac (Louis-Félix), élève à l'E.S.E., 30, rue Th.-Gautier, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Le Barrois d'Orgeval (Paul-Adolphe-Léonard), élève à l'E.S.E., 97, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Legrand (Jean-Charles-Eugène), élève à l'E.S.E., 57, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lenoël (André-Charles-Aimé), élève à l'E.S.E., 72, rue du Cherche-Midi, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Leroy (Louis-Marcel), élève à l'E.S.E., 11, rue Bourgeois, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Leyval (Henri), directeur de l'Usine électrique de Millery, à Millery (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM. Grosselin et Jouvion.

Longchamp (Etienne-Ernest), élève à l'E.S.E., 6, rue des Fossés-Saint-Marcel, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Mamier (Roger-Victor), élève à l'E.S.E., 68, rue de l'Abbé-Groult, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Martin (Raymond-Etienne-Pierre), élève à l'E.S.E., 6, place du Maine, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Matheron (Jean), ingénieur des Ponts et Chaussées, élève à l'E.S.E., 7, rue du Regard, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Maurizot (Joseph), ingénieur des Arts et Métiers, élève à l'E.S.E., 100, rue Lecourbe, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Pagès (Robert-Gabriel-Adolphe), élève à l'E.S.E., 45, rue de Paris, à Vanves (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Papillon (René), lieutenant de vaisseau délégué à l'E.S.E., 7, rue Frédéric-Bastiat, à Paris (8e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Penotet (Henri-Georges), élève à l'E.S.E., 13, rue des Rosiers, à Alfortville (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Popesco (Alexandre), élève à l'E.S.E., 41, boulevard Garibaldi, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Poussot (Pierre-Louis), élève à l'E.S.E., 11, rue La Fontaine, à Villemomble (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Réau (Jean), lieutenant de vaisseau délégué à l'E.S.E., Sélect Hôtel, 1 *bis*, rue Plumet, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Richard (Marcel-Louis), licencié ès sciences, élève à l'E.S.E., 2 *bis*, rue Max-Blondat, à Boulogne-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Schuhl (André), ingénieur des Ponts et Chaussées, élève à l'E.S.E., 85, rue La Fayette, à Paris (9e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Septenville (Pierre-Louis de), ingénieur à la Câblerie de Clichy (S. A. C. M.), 23 villa Scheffer, à Paris (16e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Siramy (Pierre-Joseph-Marie), élève à l'E.S.E. 104, rue de Vaugirard, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Siré (André-Jean), ingénieur I.E.G., élève à l'E.S.E., 7, place de Breteuil, à Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Stavresco (Angel), élève à l'E.S.E., 4, rue Rollin, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Tauzin (Jean-Louis), élève à l'E.S.E., 31, avenue de Ségur, à Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Digitized by Google

Vadjaraganian (Nazareth), élève à l'E.S.E., 35, rue Richard-Lenoir, à Paris (11e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Vagnair (Rodolphe-Emile-Auguste), élève à l'E.S.E., 17, rue Dutot, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Yolin (Maurice-Simon), élève à l'E.S.E., 113, rue Lamark, à Paris (18e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société française des Electriciens.

M. le Président fait part du décès de M. d'Andigné, Duverne, Debeauve, Durangel, Espir, Sartiaux, et Thurnauer, et il adresse aux familles des disparus les condoléances de la Société.

Il annonce que les prix suivants ont été décernés par l'Académie des Sciences :

Le prix La Caze à notre nouveau Président M. Fabry, pour l'ensemble de son œuvre scientifique.

Le prix Hébert à notre ancien Vice-Président, M. Bunet pour l'ensemble de ses travaux électrotechniques.

Le prix Houllevigue à notre ancien Président M. J. Rey pour ses travaux sur les propriétés physiques des vapeurs de pétrole et les lois de leur écoulement.

En outre une subvention de *3 000 francs sur la Fondation Loutreuil* a été accordée à notre Vice-Président, M. Chaumat, pour la construction d'un wattmètre nouveau avec dispositif permettant de déterminer l'angle de phase d'un champ magnétique et du courant qu'il produit.

M. le Président fait part du don au Laboratoire par la Société des accumulateurs électriques, anciens Etablissements Dinin d'une batterie type 3 KRM 60 Ah. Il adresse à cette Société les remerciements de la S. F. E.

M. le Président remercie les donateurs des ouvrages offerts en décembre et dont la liste est donnée à la page 120 du présent Bulletin.

L'ordre du jour appelle les communications techniques.

M. Viard, Directeur de la Société des lignes télégraphiques et téléphoniques, présente une communication sur *le câble Paris-Strasbourg*, posé par sa Société. Il expose comment et pourquoi on utilise les câbles pour les communications à grande distance ; il indique leurs caractéristiques et leur constitution, les procédés employés pour les fabriquer et les installer, les raisons pour lesquelles ces deux opérations sont particulièrement délicates. Il termine en donnant des renseignements

Digitized by Google

d'ensemble sur le réseau des câbles français et sur le câble Paris-Strasbourg-Bâle.

M. le Président remercie M. VIARD d'avoir bien voulu exposer une question aussi difficile sans le secours d'aucun appareil mathématique et avec assez de clarté pour la faire saisir par les moins avertis.

M. JOUAUST expose les dispositifs expérimentaux employés par M. TAVILL pour étudier les *phénomènes optiques dans les quartz piézo-électriques* et les résultats qu'il a obtenus, résultats fort intéressants en eux-mêmes et par les applications qu'ils permettent dès maintenant d'envisager. M. le Président remercie vivement M. JOUAUST d'avoir bien voulu nous mettre au courant de ces expériences si remarquables, et dont nous entendrons certainement reparler dans un avenir prochain.

M. CAHEN, Directeur de la Société d'études pour liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance, expose les procédés, différents parfois de ceux adoptés par M. VIARD et qui ont permis à sa Société d'établir successivement les *câbles de Sainte-Assise de Lyon-Saint-Etienne, de Paris-Rouen-Le-Hâvre et de Paris-Lille*. Il projette des vues représentant les opérations de pose et les appareils employés dans l'exploitation. Il termine en indiquant les résultats qu'il a obtenus.

M. le Président remercie M. CAHEN de sa communication qui complète si bien celle de M. VIARD, et il affirme sa persuasion que les efforts combinés de ces deux Ingénieurs éminents auront pour résultats, et d'assurer à la France le réseau interurbain dont l'absence se faisait encore il y a peu de temps si cruellement sentir et d'établir « l'équilibre » entre les deux Sociétés françaises.

Il prononce ensuite l'allocution suivante :

MES CHERS COLLÈGUES,

L'année pendant laquelle vous m'avez fait le grand honneur de me confier la présidence de la Société Française des Electriciens, est écoulée. J'en emporterai un souvenir d'autant plus précieux que le plaisir que j'ai éprouvé à diriger vos débats n'a été, grâce au dévouement infatiguable de notre délégué général M. Grosselin troublé par aucune peine. M. Grosselin est un admirable maire du palais et mon rôle a été un peu celui des rois fainéants, d'autant plus que je me suis

Digitized by Google

gardé, devant tant de compétences, de mêler ma voix peu autorisée aux discussions techniques si intéressantes qui ont occupé vos séances.

M. FABRY, qui va me succéder, n'aura pas les mêmes raisons de se tenir modestement sur la réserve. Physicien remarquable et professeur émérite, il a apporté, à la Sorbonne comme à l'Ecole Polytechnique, un nouvel éclat à des chaires qu'ont occupées avant lui tant de savants illustres. C'est un maître et ses avis seront, j'en suis sûr, attendus et écoutés avec le plus vif intérêt.

Mon cher FABRY, mon cher camarade, je vous invite à prendre place au fauteuil de la présidence de la Société française des Electriciens.

M. FABRY, Président entrant, répond en ces termes :

MESSIEURS,

En prenant la présidence de votre Société, je suis sûr d'être votre interprète en remerciant le Président sortant. Je ne dévoilerai aucun secret en disant que M. LEGOUEZ est un homme fort occupé ; nous lui sommes très reconnaissants de nous avoir consacré une partie de son temps, pour présider, avec la compétence et la distinction que vous savez, nos séances et nos Comités.

Quant à moi, Messieurs, à défaut d'une compétence égale, je puis vous assurer de tout mon dévouement. Votre Société symbolise un peu, depuis sa fondation, l'alliance de la Science et de l'Industrie, et cette alliance vous avez voulu la rendre encore plus tangible en choisissant périodiquement comme président un homme de science n'ayant aucune connexion avec l'industrie électrique, et cela avec une fréquence de l'ordre de 10^{-3} par seconde.

Cette année vous avez eu, du reste, l'ambition de choisir dans un domaine très étendu parmi les Physiciens ; je me demande même si, comme l'on dit familièrement, vous n'avez pas été un peu fort. Vous avez choisi comme président un homme qui a passé la plus grande partie de son existence à étudier les radiations, ce qui est un domaine vraiment un peu éloigné de l'Industrie électrique. Comme je ne puis croire que mes faibles mérites comme électricien et comme professeur aient su me désigner à vos suffrages, je suis obligé de me demander pourquoi vous m'avez choisi.

Lorsqu'un physicien éprouve de la difficulté à comprendre quelque chose, il fait une théorie. Voici donc celle que je me suis faite :

Digitized by Google

Dans le domaine industriel, vous avez très modestement commencé, il y a déjà longtemps ; pour réussir, vous avez employé le moyen le plus honnête et en somme le plus sûr : vous vous êtes partout rendus utiles, en attendant de devenir indispensables, de sorte que de ce côté vous n'avez plus de conquêtes à faire parce que tout vous appartient.

Dans le domaine scientifique, vous vous êtes également étendus très loin ; peu à peu, votre science s'est placée à la base de toutes les autres. Je pense qu'en choisissant quelqu'un qui s'est occupé surtout de radiations, vous avez voulu faire une petite manifestation d'impérialisme et rappeler que, depuis la grande découverte de MAXWELL, le domaine des radiations, aussi, est à vous. Si ma théorie est exacte, et si quelqu'un avait l'indiscrétion de me demander quel titre je puis avoir à présider la Société française des électriciens je serais en droit de lui répondre que... c'est la faute de MAXWELL.

Je vous suis très reconnaissant de l'honneur que vous m'avez fait en me choisissant comme président pour une année qui sera une année de réalisation. Je me rassure un peu sur les difficultés de mon rôle en pensant que la compétence et l'activité de notre Délégué Général, M. GROSSELIN, simplifieront beaucoup ma tâche.

Messieurs, je vous remercie encore une fois.

La séance est levée à 18 h. 40.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

LES PERFECTIONNEMENTS DE LA SIGNALISATION DANS LES CHEMINS DE FER PAR L'EMPLOI DE SIGNAUX LUMINEUX DE JOUR ET DE NUIT

par M. PRACHE, *Directeur de la Compagnie générale de signalisation.*

L'auteur expose que les procédés de signalisation actuellement appliqués en France ne sont plus à la hauteur des nouvelles conditions de l'exploitation. Il indique les caractéristiques des signaux lumineux de jour et de nuit, leur mode de constitution, les procédés de commande et de contrôle de leur allumage. Il expose le principe du block automatique, sa réalisation par un circuit de voie que shuntent les essieux du train, il décrit le relai à 2 éléments, l'appareillage auxiliaire dans les circuits à courant alternatif, les procédés manuels ou automatiques d'alimentation en énergie ; il résume les avantages des signaux lumineux et termine en montrant que, s'il est coûteux de premier établissement, ce système permet de réaliser des économies qui assurent l'amortissement rapide des frais d'installation. Il souhaite que le code français de signalisation reçoive les modifications nécessaires pour permettre l'adoption d'un système vraiment rationnel.

La signalisation a longtemps été un parent pauvre dans l'industrie des chemins de fer. Sans méconnaître le rôle important qu'elle tient dans l'exploitation ferroviaire, on ne lui a pas apporté tous les perfectionnements qu'elle était susceptible de recevoir comparativement au développement des différents services dont elle dépend. Alors, par exemple, que la locomotive moderne ne ressemble plus en rien à la locomotive d'il y a 50 ans et que sa vitesse a plus que doublé jusqu'à dépasser 120 km à l'heure, le signal est resté ce qu'il était peu après sa naissance : un disque ou carré de tôle peinte, éclairé la nuit par une lanterne au pétrole. On a sans doute quelque peu modifié, dans certains cas, ses dispositifs de commande ; à une manœuvre manuelle directe, on a parfois substitué une manœuvre dynamique automatique ou semi-automatique ; mais, aux yeux du mécanicien, le signal est resté ce qu'il était jadis, une cocarde aux couleurs plus ou moins lavées

Digitized by Google

ou salies, le jour ; un falot plutôt timide, la nuit. Si, il y a 50 ans, ce signal pouvait suffire aux vitesses ne dépassant pas 60 km à l'heure, les conditions ne sauraient être les mêmes aujourd'hui que la locomotive est devenue un mastodonte de fer et d'acier dont la masse masque la vue du mécanicien et que ce dernier ne dispose en outre, aux grandes vitesses, que de quelques secondes pour se rendre compte de l'indication des signaux. Considérant un cas plus particulier, il peut apparaître illogique, tout au moins aux yeux des profanes, de se servir de la vieille lanterne au pétrole pour éclairer les signaux devant les automotrices reluisantes de lumière où l'électricité commande ou règle en souveraine tous les services du train, depuis le groupe moteur jusqu'au chauffage des voitures.

On emploie déjà l'électricité pour l'éclairage des signaux dans certaines grandes gares la nuit et sur les lignes souterraines d'une façon permanente. Pour l'utiliser de jour comme de nuit en voie courante, il fallait trouver un feu suffisamment puissant pour être visible d'assez loin en plein jour, dans les plus mauvaises conditions, c'est-à-dire par les journées les plus claires et les plus ensoleillées.

Après une expérimentation de plusieurs années, au cours desquelles ont été définis et mis au point les éléments constitutifs des appareils, les signaux lumineux, à feux visibles de jour comme de nuit, deviennent d'un emploi courant sur les lignes électrifiées et leurs applications sont appelées à s'étendre également sur les lignes à vapeur.

1° *Caractères principaux des signaux lumineux.*

1° Ils ont le même aspect le jour et la nuit.

2° Ils sont très simples du fait qu'ils ne comportent aucune partie mobile.

On conçoit que ces deux caractères fondamentaux constituent des éléments sérieux en leur faveur.

Ils peuvent être classés en deux types principaux :

1° Les signaux à feux de couleur où les indications sont données par des feux de couleurs différentes, ordinairement : blanches, rouges, vertes, jaunes ou violettes.

2° Les signaux à feux de position où les indications lumineuses sont données par des alignements de plusieurs feux blancs, ces alignements reproduisant les diverses positions d'une palette sémaphorique.

Signal à feux de position. — Ses applications semblent devoir être

Digitized by Google

beaucoup plus limitées que celles du signal à feux de couleur. Aux Etats-Unis, sur le Pensylvania où ce signal est le plus employé, les indications sont les suivantes : une ligne horizontale de 4 feux blancs indique l'arrêt ; une ligne verticale de 4 feux blancs indique voie libre; une ligne 4 feux à 45° donne l'avertissement. Le sémaphore, tout au moins avec palette en tôle peinte d'une couleur convenable et non à claire-voie comme elle est généralement employée en France, est un excellent signal de jour qui permet de donner soit deux, soit trois indications. Malheureusement la nuit, éclairé par la lanterne à pétrole, il n'est pas meilleur que le signal à cocarde. Sa visibilité, comme celle de tout signal mécanique, est très amoindrie à deux moments de la journée, le soir à la tombée de la nuit, le matin au lever du jour, quand la lumière n'est pas assez forte pour que la palette soit nettement visible et que la nuit n'est pas assez avancée pour que les feux soient suffisamment marqués. L'emploi de feux reproduisant les différentes positions de la palette pare à cet inconvénient tout en réduisant à un seul aspect, sous la forme lumineuse, les indications du signal. Une lampe de 6 W, suffisante pour donner un feu blanc visible à longue distance, conduit, pour 4 feux, à une consommation de 25 W, alors que celle d'un feu de couleur exige au maximum 18 W. D'un autre côté, le panneau est plus encombrant par suite de la multiplicité des feux. Enfin, dans certains cas, par temps de brouillard notamment, il se forme autour de la rangée de feux un halo qui tend à rendre difficile la lecture du signal.

Signal à feux de couleur. — Si, dans le signal à feux de position, c'est la forme de jour qui devient permanente, dans le signal à feux de couleur, c'est la forme de nuit. Les applications nombreuses des signaux à feux de couleur sur les chemins de fer des Etats-Unis montrent qu'ils constituent la véritable solution du problème. Aux Etats-Unis, comme d'ailleurs dans plusieurs pays d'Europe, les indications données sont en général les suivantes :

un feu rouge pour l'arrêt ;
un feu jaune pour la marche à vue ;
un feu vert pour la voie libre.

L'adoption d'un seul feu par indication, tout en simplifiant le code des signaux, permet d'obtenir jusqu'à une distance de 1 500 m une lecture facile. La constitution des panneaux est plus simple et ceux-ci sont moins encombrants et moins coûteux.

En France, le signal à un seul feu par indication résoudrait avec la

Digitized by Google

même simplicité le problème de la signalisation, si l'on voulait rompre avec un code ancien qui comporte des indications à deux feux.

Le maintien de ce code limite la détermination du dispositif optique

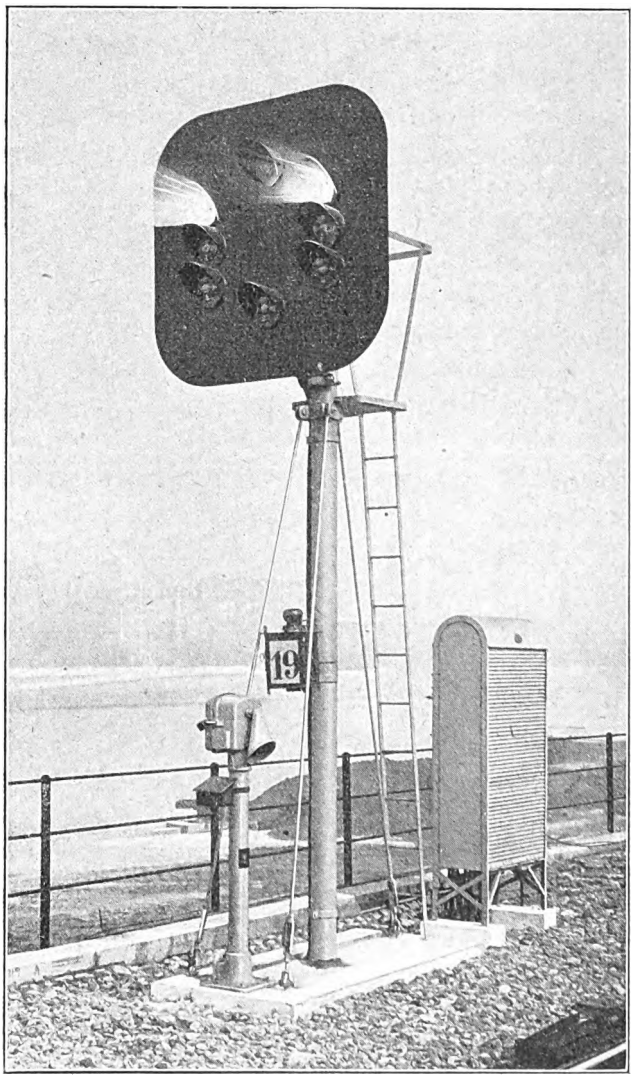


Fig. 1. — Equipement d'un signal avec armoire à relais et détonateur.

et conduit à l'adoption d'un type unique de signal constitué par des feux à moyenne portée. En effet, pour chaque feu, la lentille extérieure doit avoir un diamètre suffisant pour que, à distance, il conserve un diamètre apparent sensible à l'œil ; d'un autre côté, il faut qu'à dis-

Digitized by Google

tance on aperçoive toujours nettement les deux feux, autrement dit que leur écartement ne descende pas au-dessous d'une valeur limite qui pratiquement est de 75 cm avec des lentilles de diamètre extérieur de 150 mm.

Si l'on employait des lentilles de diamètre plus grand, il faudrait augmenter cet écartement qui deviendrait incompatible avec les dimensions admissibles du signal, car un feu lumineux, pour être nettement visible en plein jour, doit se détacher sur un fond de couleur appropriée constitué par un écran débordant. L'expérience a montré que la largeur de l'écran ne saurait descendre en dessous de 1,50 m pour la bonne visibilité de deux feux colorés donnés simultanément.

La figure 1 représente un signal lumineux avec panneau à huit feux donnant les indications du carré absolu, du sémaphore et du damier d'avertissement.

2° *Constitution des feux.*

Le système optique. — L'expérience a montré qu'un système lenticulaire est préférable à n'importe quel système réflecteur, en raison des indications fantômes que donnent les miroirs lorsqu'ils sont

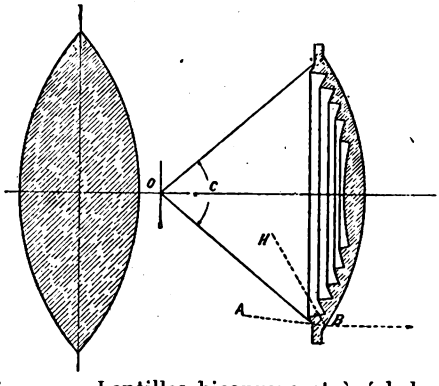


Fig. 2. — Lentilles biconvexe et à échelons.

éclairés par des sources extérieures (le soleil par exemple lorsqu'il est à une faible hauteur au-dessus de l'horizon).

Les lentilles à échelons sont employées de préférence en raison de leur grand angle d'ouverture, de leur section uniforme, de leur faible poids et de leur moindre prix. Dans le cas de lentilles colorées, il importe d'avoir une section à peu près uniforme, sinon le centre de la lentille serait plus sombre que la périphérie.

La figure 2 représente une lentille biconvexe et une lentille à éche-

Digitized by Google

lons de même diamètre et de même distance focale. Soit une source O éclairant également dans toutes les directions ; la quantité de lumière projetée par la lentille augmente avec l'angle d'ouverture C. Cet angle est limité par le rayon OA, pour lequel le rayon réfracté AB est totalement réfléchi suivant BH. Dans le cas d'une lentille biconvexe ordinaire, on adopte généralement 90° comme valeur maxima de C, en vue d'éviter la dispersion sur les bords de la lentille. En employant une combinaison de deux lentilles, on accroît notablement l'angle d'ouverture C et, de ce fait, on obtient un meilleur rendement de la source lumineuse. Dans un premier type de signal, chaque feu est constitué par un système de deux lentilles (fig. 3) (1), montées sur un anneau en fonte et présentant extérieurement une face lisse, afin d'empêcher la neige ou les corps étrangers d'y adhérer. La lentille extérieure, blanche, a un diamètre de 16 cm environ ; la lentille intérieure est, à volonté, blanche ou colorée.

Il a été reconnu préférable d'employer une lentille colorée, plutôt que d'interposer entre deux lentilles blanches un verre coloré, qui contribuerait à réduire l'intensité du faisceau et pourrait provoquer des reflets.

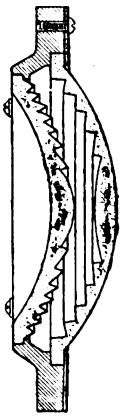


Fig. 3. — Doublet de lentilles à échelons.

La coloration des lentilles est d'ailleurs définie par une analyse spectrale précise, de façon à donner, en combinaison avec la lampe électrique, la couleur voulue et, en même temps, l'absorption minima

(1) Cette figure est empruntée au journal *La Technique moderne*, t. XII, n° 19, du 1er octobre 1905, et extraite d'un article de M. J. Nertet, sur l'emploi des signaux lumineux de jour et de nuit.

Digitized by Google

des rayons lumineux. C'est ainsi, par exemple, que dans la lentille qui donne le feu vert, la teinte bleue est prédominante.

Lorsque le signal est implanté dans une courbe de faible rayon, il importe d'obtenir un faisceau de plus grande ouverture pour la bonne visibilité du signal sur une longueur suffisante de la courbe. A cet effet, on emploie une lentille supplémentaire dispersive qui est montée sur un anneau en fonte de même diamètre que celui qui porte le doublet des deux lentilles. Cette lentille peut épanouir horizontalement le faisceau lumineux jusqu'à 40° d'ouverture, qui est l'angle maximum utile. Dans un cercle de 400 m de rayon, correspondant au maximum de courbure des voies, cet angle sous-tend un arc de 500 m de longueur environ, ce qui donne une distance suffisante de visibilité pour la vitesse permise aux trains.

Il est nécessaire de condenser la lumière émise dans un faisceau étroit pour que le feu soit visible à longue distance. Cette étroitesse du faisceau laisse un angle mort préjudiciable à la visibilité rapprochée du feu. Lorsqu'il s'agit des signaux de départ implantés en bout de quai, sensiblement à hauteur de la locomotive ou de signaux surélevés, il peut être utile d'améliorer la visibilité rapprochée des feux. A cet effet, on adapte au centre du système lenticulaire, entre les deux lentilles, un petit prisme dispersif qui renvoie latéralement une partie du faisceau tout en laissant passer l'autre partie dans l'axe du système.

La source lumineuse. — Elle est constituée par une lampe électrique, qui s'adapte sur un support à douille fixé sur l'anneau porte-lentilles et qui est réglable par rapport à celles-ci. Pour constituer des feux de couleur visibles le jour, par temps clair, jusqu'à 600 m au minimum, il est nécessaire de donner aux faisceaux une grande intensité par des systèmes optiques, au foyer desquels se trouve une source lumineuse concentrée.

La lampe comporte deux filaments ramassés, alimentés en parallèle. On a ainsi, sensiblement au même foyer, deux sources différentes, allumées en même temps, mais dont une seule assure un éclairage suffisant du feu, en cas de rupture du filament de l'autre.

La mise en circuit des deux filaments est préférable à la mise en circuit d'un seul des deux, l'autre étant réservé comme secours, pour être branché automatiquement en cas de défaillance du premier. Dans cette dernière disposition, rien ne peut assurer que le filament de secours sera en bon état lors de sa mise en circuit. On sait en effet qu'un

Digitized by Google

filament est plus résistant aux chocs ou aux vibrations à chaud qu'à froid et bien que les deux filaments d'une lampe puissent être vérifiés préalablement en usine, celui qui ne sera pas en service normal pourra se rompre sans que la rupture puisse être décelée. Si les filaments sont tous deux en circuit, la défaillance de l'un d'eux n'entraînant pas celle de l'autre, on peut être assuré que ce dernier continuera à donner un éclairage suffisant du feu jusqu'à ce que, l'attention de l'agent d'entretien ayant été appelée, il sera procédé au remplacement de la lampe. Ce fait est d'ailleurs confirmé par l'expérience, qui a montré que la lampe qui n'a plus qu'un filament valide reste à même de brûler plusieurs jours, le léger survoltage qui peut se produire sur le filament restant, n'en écourtant pas la vie d'une façon appréciable.

Le culot de la lampe est muni de trois tenons placés dissymétriquement et qui, en raison du repérage de la douille, assurent une orientation déterminée des filaments. La mise en place et le scellement du culot sont faits sur un appareil spécial qui permet, par un centrage précis des filaments, d'obtenir automatiquement pour ces derniers, la mise exacte au foyer du système optique.

Dans chaque feu, la lampe est alimentée sous 8 V et consomme au maximum 16 W. L'alimentation des feux d'un panneau se fait, soit au moyen d'un transformateur unique 110/16 V pour les différents groupes de feux, soit au moyen d'un transformateur par groupe de feux. Les lampes sont légèrement sous-voltées en vue d'augmenter leur durée, qui peut atteindre plusieurs milliers d'heures sans rupture des filaments. En pratique, par mesure de sécurité, on les remplace systématiquement au bout de quinze cents heures de service. L'éclairage des feux peut se faire également avec des lampes de 30 V, voire même à 110 V, mais dans ce dernier cas, il n'est pas possible d'avoir un filament concentré et la portée est sensiblement réduite.

Le support de lampe. — Il est constitué par une platine métallique portant la douille et qui se fixe au moyen d'un dispositif indéréglable sur l'anneau porte-lentilles. Le réglage est fait une fois pour toutes en usine, sur un montage approprié qui permet de donner au faisceau lumineux une direction perpendiculaire au plan de l'anneau porte-lentilles. Les lampes étant elles-mêmes calibrées, se remplacent aussi facilement que les lampes ordinaires et cela sans nécessiter aucun nouveau réglage pour la mise des filaments au foyer.

Un autre type de signal comporte, au lieu d'un seul système lenticu-

Digitized by Google

laire, trois ou quatre systèmes de diamètre réduit. Chaque système élémentaire comprend une lampe de 6 W à filament unique. La rupture d'une lampe n'entraîne pas l'extinction du feu, les autres continuant à assurer provisoirement une visibilité suffisante.

Constitution des panneaux. — Chaque feu (fig. 4) constitue donc un ensemble auquel l'anneau porte-lentilles sert de base. A la partie supérieure de cet anneau, un capuchon protège la lentille contre les reflets extérieurs.

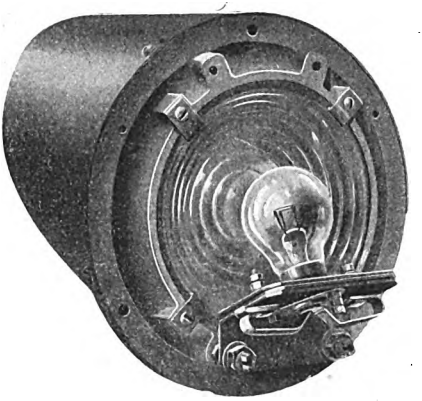


Fig. 4. — Feu élémentaire.

Le panneau lumineux est constitué par une boîte en fonte présentant des alvéoles dans lesquelles se fixent les feux élémentaires. Cette boîte est fermée par un volet muni de fenêtres d'aération. Un écran en tôle, de dimensions appropriées, est adapté sur le devant de la boîte. Lorsque les indications du signal comportent simultanément deux feux (carré, sémaphore ou damier), le panneau est constitué par un cadre en fonte, formé par la réunion de deux boîtes à deux, trois ou quatre feux (fig. 5).

Le panneau est porté par un tube en fer sur lequel il se fixe au moyen de deux supports qui permettent son orientation en hauteur et en direction. Le support inférieur comporte un plateau portant deux oreilles et pouvant tourner autour d'un axe vertical ; la boîte en fonte s'attache sur ces oreilles par un axe horizontal autour duquel elle peut pivoter ; un crochet terminé par un filet de vis et retenu par un écrou la relie au support supérieur. En déplaçant cet écrou, on incline le panneau autour de l'axe horizontal inférieur ; en desserrant, d'autre part, l'écrou d'immobilisation du plateau du support inférieur, on fait

Digitized by Google

tourner le panneau autour de l'axe vertical. Il est donc possible de donner au panneau l'inclinaison et l'orientation voulues. C'est d'ailleurs le seul réglage qu'il y ait à faire en campagne, du fait que les

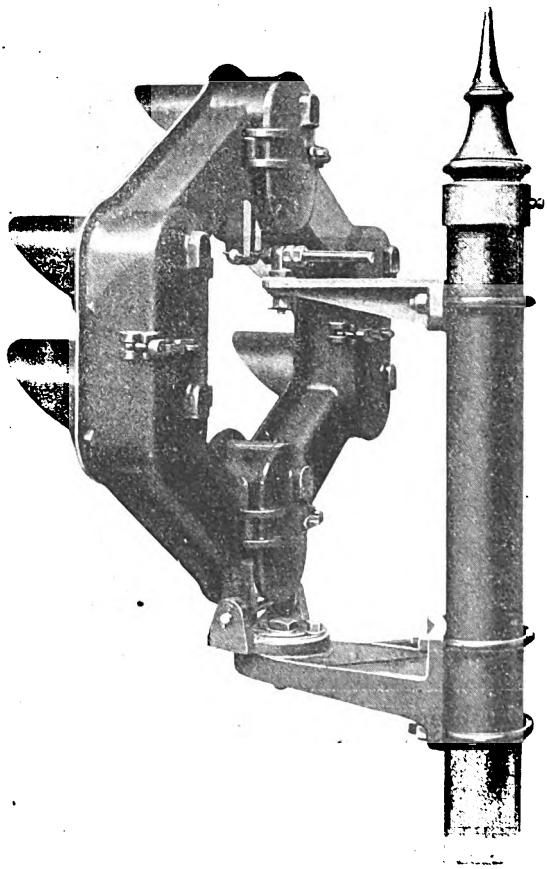


Fig. 5. — Signal à 6 feux, sans écran (vue arrière).

faisceaux lumineux des différents feux sont, par construction, parallèles entre eux.

Le tube porte-panneau est monté sur une boîte en fonte qui contient les relais, transformateurs, etc., ou bien, plus généralement, il est scellé dans un massif en ciment et consolidé par des haubans (fig. 1). Une échelle avec plate-forme, fixée au tube, permet l'accès au panneau. Dans le cas d'un panneau sur portique, le montage se fait de la même façon, le tube-support étant fixé à la charpente par des colliers.

Lorsqu'il s'agit de signaux dont la visibilité n'est pas demandée à

Digitized by Google

grande distance, tels que les signaux indicateurs de direction d'aiguille ou, s'il s'agit de signaux situés en tranchée ou sous-tunnel, où l'espace dont on dispose pour leur implantation est réduit, chaque feu ne comporte qu'une seule lentille à échelons, de 11 cm de diamètre.

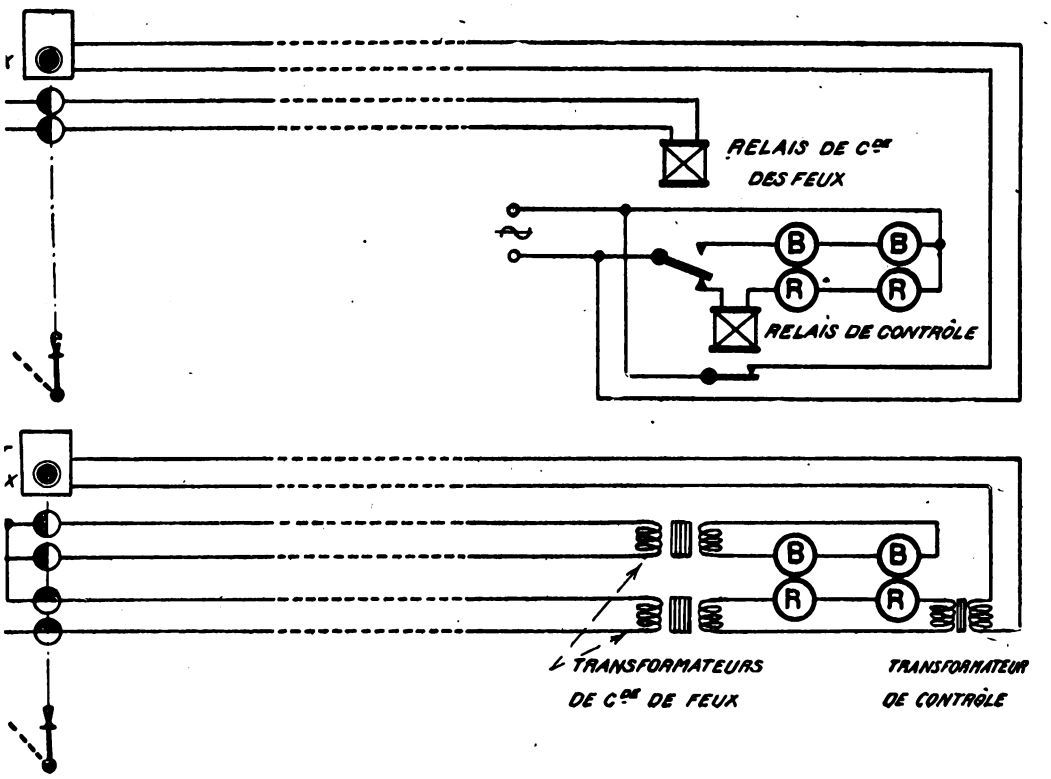


Fig. 6. — Schémas de commande et de contrôle de signal lumineux.

Dispositifs auxiliaires. — Le signal porte généralement, placée en dessous du panneau lumineux, une lanterne dite « de position », destinée à marquer, la nuit, l'emplacement du signal en cas d'absence du courant. Cette lanterne est éclairée par une source différente de celle qui alimente le panneau. Son éclairage peut être donné, soit par une lampe à pétrole pouvant brûler constamment plusieurs jours sans recharge, soit par une lampe électrique alimentée par une petite batterie d'accumulateurs normalement chargée par le courant d'alimentation générale. Dans ce dernier cas, la batterie peut être utilisée à d'autres

Digitized by Google

fins, notamment à l'alimentation du crocodile, pour la répétition des signaux sur les machines.

3° *Commande et contrôle de l'allumage des feux.*

Il y a deux cas à considérer, suivant que cette commande a lieu à partir d'un poste, ou qu'elle se fait automatiquement comme dans le block automatique.

a) Commande manuelle. — L'alimentation des feux est donnée, soit par les contacts d'un relais, soit par un transformateur disposé à pied-d'œuvre. Un commutateur sur lequel on agit directement ou que l'on place sur le levier de commande du signal, ferme le circuit d'excitation du relais ou le circuit d'alimentation du primaire du transformateur.

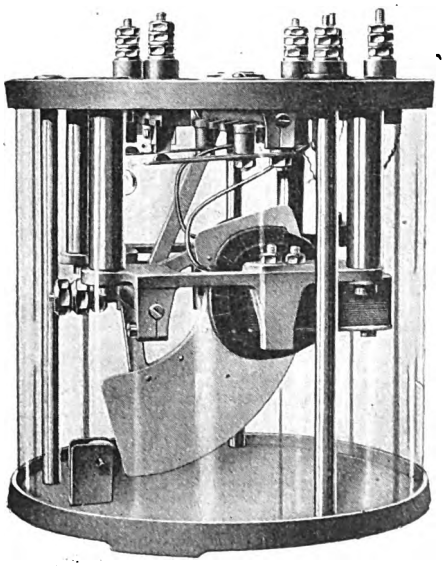


Fig. 7. — Relais à courant alternatif, type disque, 2 éléments.

Les schémas fig. 6 montrent clairement ces deux modes de commande.

Le contrôle de l'allumage des feux est donné en cabine s'il y a lieu, par une lampe de contrôle. L'allumage de cette lampe est commandé par un relais d'intensité, intercalé dans le circuit d'alimentation des feux, ou bien il est donné par le secondaire d'un petit transformateur dont le primaire est en série sur l'alimentation des feux. Le relais d'in-

Digitized by Google

tensité est établi pour rester désexcité lorsque l'intensité du courant d'alimentation des feux baisse de moitié, ce qui correspond à la rupture de l'un des deux filaments. L'aiguilleur est ainsi prévenu d'avoir à procéder au remplacement d'une lampe.

b) Block automatique. — Les applications les plus intéressantes des signaux lumineux sont liées au block automatique, assurant l'action directe des trains sur les signaux qui les protègent.

Cette action peut se transmettre, soit par des pédales mécaniques que le train heurte ou fait fléchir à son passage, soit par des circuits de voie.

Sans entrer dans la discussion des difficultés d'établissement de pédales mécaniques qui puissent fonctionner convenablement aux vitesses réalisées sur les grands réseaux, on peut dire que toutes les installations de block automatique de quelque importance, sont basées sur l'application exclusive des circuits de voie, en raison de leurs avantages reconnus, savoir :

1° Sécurité de fonctionnement, action continue et effective des trains sur les signaux au lieu de l'action passagère que donne la pédale mécanique.

2° Mise à l'arrêt automatique des signaux, dès que se produit une rupture de rail ou un déplacement intempestif d'une des aiguilles donnant accès sur la voie principale.

Circuit de voie. — Si nous prenons le cas du courant continu, les éléments essentiels en sont :

La *batterie d'alimentation* branchée entre les rails, à la sortie du circuit de voie, l'entrée et la sortie étant définies par le sens de marche des trains.

Le *relais* branché à l'entrée.

Les *rails* de roulement qui, à chaque extrémité du circuit sont isolés électriquement du reste de la ligne au moyen d'éclisses spéciales. Les joints des rails sont doublés de connexions électriques, de telle façon que l'on peut considérer comme négligeable la résistance des rails dans les circuits de voie bien établis et de faible longueur.

Les deux files de rails sont donc à une tension différente et il s'établit entre eux des pertes ou courants dérivés par les traverses et le ballast, pertes dépendant de la nature des matériaux, de leur état, ainsi

Digitized by Google

que des conditions climatériques. On est donc conduit à adopter une tension très faible pour limiter ces pertes.

Tant que la section est libre, le circuit comporte deux résistances en parallèle ; le relais et le ballast ; l'entrée d'un véhicule introduit une troisième résistance, le shunt constitué par les essieux.

Ces résistances sont en série avec la résistance interne de la batterie ou la résistance auxiliaire qui la remplace. L'addition de la résistance auxiliaire est indispensable, lorsque la batterie est de résistance interne faible ; elle facilite la chute de tension aux bornes du relai et par

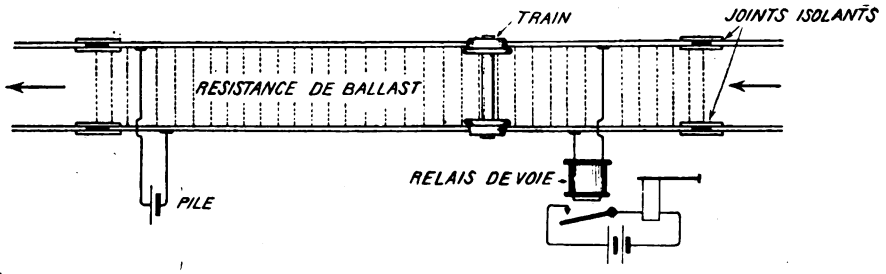


Fig. 8. — Le circuit de voie.

suite la désexcitation de ce dernier quand un essieu shunte le circuit, elle évite la mise en court-circuit de la batterie et sert, en outre, au réglage de la tension entre rails.

L'isolement entre rails (ou plus exactement la résistance des traverses et du ballast) est, dans les conditions moyennes, de 1 à 2 ohms au kilomètre ; dans les cas les plus défavorables elle peut tomber à 0,3 ohms.

Le principe est donc de faire tomber, par un shunt, la tension aux bornes du relais pour provoquer sa désexcitation.

Le *shunt* constitué par un train entier est de résistance si faible qu'on peut la négliger ; il n'en est pas de même avec un véhicule léger et isolé, car les surfaces de contact et la pression des roues sur les rails sont faibles. La rouille et les scories augmentent encore la résistance ; il suffira d'ailleurs pour que le shunt soit efficace dans ces conditions, que le réglage du circuit de voie soit fait en conséquence.

Relais de voie. — La résistance du relais est imposée principalement par les considérations de consommation d'énergie. Il y a intérêt à augmenter sa résistance en vue de limiter sa consommation ; mais il faut tenir compte que cette augmentation entraîne un accroissement

Digitized by Google

de la tension aux bornes, et la consommation totale du circuit de voie peut se trouver accrue du fait des pertes entre rails. En pratique, la résistance est d'environ 4 ohms et la force électromotrice d'attraction est de 0,3 V ; le relais est construit de telle sorte que son armature tombe quand le courant diminue sensiblement de moitié.

Batterie. — La batterie doit être de tension et de résistance interne aussi constantes que possible, la variation de ces éléments modifiant profondément le réglage du circuit de voie.

On emploie, soit des piles au sulfate, soit des piles à la soude, soit des accumulateurs. L'emploi d'une résistance auxiliaire est nécessaire avec les piles à la soude et les accumulateurs dont la résistance interne est faible.

Le circuit de voie à courant continu, possible sur les lignes à vapeur, ne l'est plus sur les lignes électrifiées où les rails de roulement servent de retour au courant de traction, par suite des interférences qui se produisent entre le courant de signalisation et le courant de retour de traction. Il est rendu difficile également sur les portions de lignes à vapeur où les rails sont parcourus par des courants vagabonds provenant de lignes de tramways ou autres. Dans ces cas, le circuit de voie doit être alimenté en courant alternatif et, si la traction a lieu par courant alternatif, la fréquence du courant de signalisation doit être différente de celle du courant de traction.

En courant alternatif les éléments essentiels du circuit de voie sont : d'une part le transformateur, le relais et les résistances ou impédances de réglage ; d'autre part, la ligne de transmission et la source d'énergie qui alimentent en même temps les signaux.

Si, en courant continu, les relais de voie sont sensiblement tous de même type, il n'en est pas de même en courant alternatif, où l'on trouve des relais à disque à 1 ou 2 enroulements, des relais à rotor bobiné, des relais de fréquence, etc...

Nous ne décrirons que le relais à disque, le plus communément employé, en prenant le cas du relais à deux éléments qui joue le rôle principal dans le block automatique par signaux lumineux. Le relais à un élément n'est employé que dans les circuits de faible longueur : il prend son alimentation à l'une des extrémités du circuit de voie tout comme le relais à courant continu. Sa consommation devient assez grande pour les longs circuits ; aussi emploie-t-on dans ce cas le relais à deux éléments (fig. 7).

Digitized by Google

Relais à deux éléments. — Un circuit de voie n'est qu'un transport de force d'un rendement particulièrement faible en raison des pertes entre rails ; le mieux est de réduire au minimum l'importance de la puissance qu'il doit transmettre.

C'est dans cet ordre d'idées que fut inventé le relais à deux éléments. Il se compose de deux bobinages distincts ; l'un, l'*élément de voie*, est

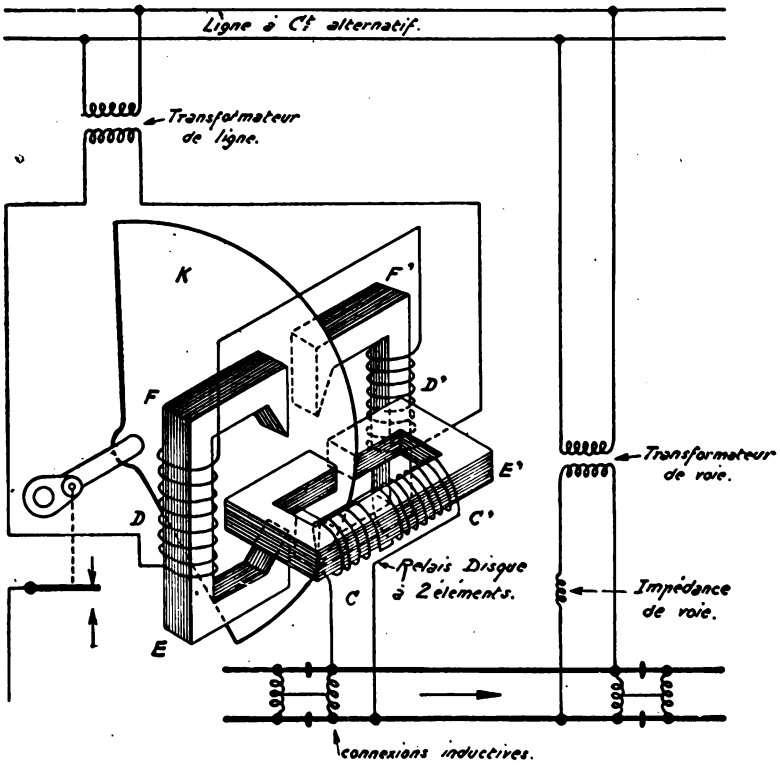


Fig. 9. — Schéma des circuits d'un relais à 2 éléments.

connecté aux rails et reçoit par leur intermédiaire le courant débité par le transformateur de voie, tandis que le deuxième élément, l'*élément local*, reçoit directement son courant d'un transformateur local (fig. 9).

Le couple de l'élément mobile du relais est proportionnel au produit des courants qui passent dans l'élément de voie et dans l'élément local, compte tenu des relations de phase. On peut obtenir un couple déterminé sur l'élément mobile actionnant les contacts, par l'action mutuelle, soit de courants d'une intensité moyenne dans les deux élé-

Digitized by Google

ments, soit d'un courant très faible dans l'un des éléments et d'un courant élevé dans le deuxième élément.

On emploie donc un courant très faible dans l'élément de voie et l'on perd ainsi peu de puissance dans le circuit de voie, la tension aux bornes du transformateur est par suite faible. D'autre part, le transformateur local débite sur l'élément local une intensité relativement élevée. Il n'y a pratiquement pas de pertes entre le transformateur et la bobine locale du relais, étant donné que les fils sont soigneusement isolés et généralement très courts.

Le relais à deux éléments fonctionne comme un moteur, c'est-à-dire que les deux éléments, voie et local, doivent être excités simultanément pour obtenir un mouvement de rotation de l'élément mobile. L'élément local, relié de façon permanente à son transformateur, est constamment excité, qu'il y ait un train ou non sur le circuit de voie. L'élément de voie n'est excité que tant que le circuit de voie est dégagé.

Quelques modèles de relais à deux éléments fonctionnent exactement sur le même principe que le moteur à courant continu. Les inducteurs et l'induit du moteur représentent respectivement les deux éléments du relais. Le couple moteur existe tant qu'il y a du courant dans les inducteurs et l'induit, mais il disparaît si, par exemple, on met l'induit en court-circuit.

Relais à deux positions. — Les relais à courant alternatif à un élément sont nécessairement à deux positions ; il n'y a pas d'élément à caractère permanent qui puisse répondre aux changements de polarité du seul élément excité et, par suite, ces relais sont absolument comparables aux relais neutres à courant continu.

Relais à trois positions. — Les relais à deux éléments peuvent au contraire être indifféremment à deux ou trois positions. La partie mobile du relais à deux éléments, c'est-à-dire le disque, peut tourner dans un sens ou dans l'autre selon le sens relatif des flux magnétiques produits dans l'enroulement local et l'enroulement de voie. Comme nous l'avons indiqué précédemment, l'élément local est relié d'une façon permanente à son transformateur d'alimentation mais, par contre, la polarité de l'élément de voie peut être inversée par le jeu d'un commutateur. Dans ce relais, la partie mobile est munie d'un contre-poids qui la ramène à la position médiane ou neutre, tous les contacts étant ouverts quand un train est dans la section et shunte l'élément de voie du relais. Quand l'élément de voie est excité dans un sens, il établit

Digitized by Google

certains contacts puis, après fonctionnement de l'inverseur, la polarité de l'élément de voie est changée et les premiers contacts opposés sont établis.

Appareillage auxiliaire du circuit de voie à courant alternatif.

Transformateur. — Le transformateur d'alimentation du circuit n'offre aucune particularité spéciale. Il comporte un ou deux secondaires suivant qu'il alimente seulement le circuit de voie ou en même temps les feux du signal.

Résistance et impédance. — Le transformateur ayant une résistance intérieure faible, on doit intercaler une résistance ou une impédance entre la voie et le transformateur pour éviter sa mise en court-circuit.

La *résistance* est faite de quelques tours de fil de haute résistance spécifique et de capacité suffisante pour supporter le court-circuit sans chauffer.

L'*impédance* est formée de quelques tours de gros fil enroulé sur un noyau de fer.

Connexions inductives. — Lorsque les deux rails de roulement sont utilisés pour le retour du courant de traction, la continuité de ce courant aux extrémités du circuit de voie est assurée par des connexions inductives qui permettent le passage du courant de retour de traction d'un circuit de voie à l'autre, tout en arrêtant le courant de block.

Le circuit de voie avec relais à deux éléments permet de réaliser un block automatique avec signal à trois positions sans fils de ligne. Le schéma en est très simple.

4° *Alimentation des installations de block automatique par signaux lumineux.*

La question de l'alimentation est un point fondamental dans les installations de signaux lumineux. Il importe en premier lieu d'avoir une source d'alimentation continue afin que les extinctions de feux soient, sinon impossibles, tout au moins aussi rares que possible et de très courte durée ; on est donc conduit à installer des groupes d'alimentation de secours à mise en route automatique, comprenant :

1 moteur à essence, 1 dynamo, 1 alternateur, 1 batterie d'accumulateurs.

Dès l'arrêt du secteur, un inverseur automatique branche le feeder d'utilisation sur l'alternateur ; au même instant, la dynamo à courant

Digitized by Google

continu, débrayée du moteur à essence, démarre en moteur grâce à la batterie d'accumulateurs qui doit toujours être chargée. Cette dynamo entraîne l'alternateur qui alimente le feeder. Lorsque le courant du secteur est rétabli, l'arrêt du groupe et le rebranchement sur le secteur est opéré par un agent.

Dans le cas où la panne se prolongerait, le moteur à essence doit être mis en route et assurer l'entraînement de l'ensemble.

Après chaque mise en route du groupe de secours, il est nécessaire de recharger la batterie au moyen du moteur à essence.

Les Américains, qui ont spécialement étudié la question des groupes de secours, ont mis au point des groupes à essence à démarrage automatique. Une telle installation comprend le groupe électrogène, la batterie de démarrage et un tableau portant les appareils de commande avec régulateur de tension. Le système comporte également un dispositif automatique, permettant l'enrichissement momentané du mélange gazeux pendant la période de démarrage.

Dès que le courant manque, un relais spécial commande deux opérations :

La manœuvre d'un inverseur qui coupe le feeder d'utilisation de l'alimentation normale, et celle d'une série de contacteurs qui mettent en route le groupe sur la batterie de démarrage. Dès que le moteur à essence tourne à vitesse de régime, le feeder d'utilisation est connecté au groupe.

Dès le rétablissement du courant normal, l'inverseur automatique rétablit automatiquement l'alimentation normale sur le feeder d'utilisation. En même temps une série d'opérations provoque l'arrêt du groupe électrogène.

Dans les dispositifs de secours que nous venons de décrire, le courant manque sur l'installation pendant la période correspondant à la mise en marche du groupe de secours. Cette période varie de 8 à 20 secondes suivant qu'il s'agit d'un groupe à moteur électrique ou à moteur à essence.

Il est possible d'éviter cette interruption, si l'on peut disposer à la sous-station de deux sources de courant provenant de secteurs différents et indépendants l'un de l'autre, par l'emploi de groupes tournants à trois machines comprenant un alternateur et deux moteurs branchés sur le même arbre et établis pour fonctionner, l'un sur le courant normal, l'autre sur le courant de secours. Comme dans les

Digitized by Google

systèmes précédents, un relais à minima de tension commande automatiquement le passage d'une alimentation sur l'autre, en un temps assez court pour ne pas occasionner de ralentissement du groupe ni, par suite, d'extinction des signaux.

La distribution du courant sur la ligne se fait généralement entre 1 100 et 2 000 V par des feeders souterrains en câbles armés. A chaque point d'utilisation, un transformateur abaisseur ramène la tension à la valeur d'alimentation des appareils.

Un nouveau mode d'alimentation des signaux tend depuis peu à se développer aux Etats-Unis.

Il comprend :

1° Une batterie d'accumulateurs connectée en permanence aux circuits du signal ; 2° une source de courant alternatif ; 3° une ligne de transmission ; 4° un redresseur de courant connecté entre la ligne de transmission et la batterie avec un transformateur abaisseur de tension.

Le succès qu'il a obtenu dans de nombreuses installations d'essai, l'ont fait se développer sur de nombreux réseaux.

Ses principaux avantages sont les suivants :

1° Il est le seul qui comporte un réservoir constant d'énergie électrique à chaque signal, toujours prêt à assurer l'alimentation des circuits en cas d'interruption du courant de ligne.

2° Il n'est donc pas nécessaire que le courant général transmis le long de la ligne soit assuré d'une façon continue, en augmentant la capacité du redresseur pour assurer la charge de la batterie. En fait, on utilise des sources d'alimentation qui n'assurent le courant que 12 h par jour. Il est ainsi possible d'utiliser l'alimentation de secteurs locaux à des prix plus avantageux, même si ces secteurs ont de fréquentes interruptions.

3° La ligne de transmission n'a à transmettre qu'un courant moyen, de sorte qu'elle peut être de section réduite.

4° La tension à chaque poste est maintenue pratiquement constante, assurant ainsi une grande marge de sécurité dans le fonctionnement du signal.

5° La batterie étant toujours chargée, il n'y a pas lieu de craindre le danger de gel. Elle fonctionne dans les conditions les meilleures pour durer. Il ne se produit pas d'électrolyse, ni d'échauffement, en raison du faible courant de charge. L'entretien est donc insignifiant.

L'alimentation par redresseurs et batteries est simple, mais exige

Digitized by Google

toutefois des précautions spéciales en vue d'obtenir le meilleur rendement.

En ce qui concerne la ligne de transmission, pour des distances de l'ordre de 8 à 10 km, on emploie la tension de 220 V et pour des distances plus grandes, jusqu'à 500 V. Pour les grandes distances, il est d'ailleurs possible de prévoir deux prises sur le primaire du transformateur pour le redresseur, la tension la plus basse étant prise à l'extrémité de la ligne où la chute de tension est plus grande.

Le bon rendement du redresseur est important, lorsque le courant n'est pas très bon marché et lorsque la longueur de ligne augmente.

On a utilisé jusqu'ici différents types de redresseurs, notamment les redresseurs mécaniques à pièce vibrante et les valves thermoioniques ou électrolytiques. Un nouveau type commence à être utilisé, dont le fonctionnement repose sur la propriété que possèdent certains oxydes métalliques au contact de certains métaux, de permettre au courant électrique de passer de l'oxyde au métal plus facilement que dans le sens inverse. Ce redresseur, purement statique, ne comporte ni lampe, ni pièces vibrantes, ni liquide électrolytique, éléments périssables ou exigeant un entretien spécial.

CONCLUSIONS

1° *Avantages des signaux lumineux.*

Les nombreux avantages que présentent les signaux lumineux à feux de jour et de nuit sur les signaux mécaniques peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

1° Leur simplicité et le fait qu'ils ne comportent aucun organe mobile sont une garantie de bon fonctionnement. Ils sont moins sujets que les signaux mécaniques à donner des indications fausses ou douteuses, par suite de l'intervention d'une cause extérieure ;

2° Les indications qu'ils donnent aux mécaniciens, les mêmes de jour et de nuit, ont toujours un caractère positif ;

3° Leur visibilité, le jour, est au moins égale à celle des signaux mécaniques ; la nuit, elle leur est très supérieure et les feux blancs se distinguent nettement des feux d'éclairage. Par temps de brouillard, la supériorité des signaux lumineux est également nettement marquée

Digitized by Google

et la distance de visibilité est environ trois fois celle des signaux ordinaires, de sorte que l'on peut supprimer les dispositifs auxiliaires employés pour la répétition de ces derniers ;

4° Ils s'adaptent plus facilement que les signaux mécaniques aux différents modes de commande, automatique, semi-automatique, ou manuelle ;

5° Ils permettent de grouper sur un même panneau les indications de plusieurs signaux mécaniques qui se suivent (cas du groupe sémaphore-damier dans les postes de pleine voie et du groupe carré-sémaphore-damier dans les postes de bifurcation). Ceci permet une économie dans les frais d'installation et facilite le service des mécaniciens, qui n'ont jamais devant eux, en un point de la voie, qu'une seule et unique indication. Ceci est important au point de vue de la sécurité car, avec les groupements de signaux actuels, un mécanicien peut se trouver, la nuit, en un point déterminé de la voie, en présence : des deux feux rouges d'un signal de cantonnement fermé ; des deux feux blancs du damier avertisseur du signal suivant ouvert, et quelquefois du feu blanc d'un disque avancé. En pareil cas, ce sont les feux du signal de cantonnement, de beaucoup les moins visibles, qui seuls doivent attirer l'attention.

6° L'entretien d'une installation de signaux lumineux, pour ainsi dire nul, se réduit au remplacement périodique des lampes.

2° *Prix de revient des installations de signaux lumineux.*

En regard des avantages que présentent les signaux lumineux, il est intéressant de connaître le coût de leur installation.

En prenant comme exemple les installations de block automatique avec signaux lumineux réalisées par les chemins de fer de l'État sur leurs lignes de banlieue, ce prix ressort en moyenne à 200 000 f le km de voie électrifiée pour des cantons de 500 à 600 m longueur. Ce prix paraît à première vue élevé, mais il y a lieu de considérer l'économie d'exploitation qui en résulte. Par exemple, une installation qui a coûté au réseau 1 200 000 f permet de récupérer 35 agents qui étaient occupés à la manœuvre manuelle. Chaque agent coûtant environ 12 000 f, le gain annuel est de 420 000 f. Si l'on tient compte de ce que le supplément d'entretien pour la nouvelle installation, y compris la fourniture du courant, ressort à 60 000 f environ, il apparaît que l'économie annuelle réalisée se monte à 300 000 f et permet un amor-

Digitized by Google

tissement rapide des frais d'établissement. L'opération financière n'est donc pas du tout mauvaise et elle procure en outre une signalisation plus moderne, plus sûre, et permettant d'accroître dans une large mesure le trafic.

Nous ne voudrions pas prétendre que l'opération sera aussi bonne pour toutes les installations, mais ce que nous croyons pouvoir dire, c'est qu'il ne faudra généralement pas plus de dix années pour amortir les frais d'établissement sur les économies réalisées. L'opération pourrait d'ailleurs être souvent améliorée si l'installation n'était pas limitée aux dispositifs de signalisation proprement dits ; bien souvent les garde-sémaphores commandent en même temps les barrières de passage à niveau ; ils deviendront inutiles pour la commande des signaux, mais ils resteront nécessaires pour manœuvrer les barrières si le programme ne comporte pas, en même temps que la manœuvre automatique des signaux, la suppression des barrières en ajoutant des signaux d'avertissement de passages à niveau.

Il faut bien dire aussi que les installations pourraient être moins coûteuses si elles n'étaient aussi compliquées qu'elle le sont généralement chez nous. Bien souvent, lorsqu'un réseau a décidé d'appliquer un système nouveau, il n'ose pas se défaire des procédés anciens ; l'appareil nouveau vient se superposer à l'appareil ancien comme si ce dernier devait rester un adjuvant réel de sécurité. On fait souvent le raisonnement suivant : tel appareil ayant une probabilité de non fonctionnement égal à $\frac{1}{a}$, si on lui adjoint un appareil de contrôle ayant un coefficient de $\frac{1}{b}$, la probabilité d'un incident sera réduite à $\frac{1}{ab}$. On oublie bien souvent qu'on n'a pas affaire à des événements indépendants ; et que le calcul des probabilités n'est pas applicable en pareil cas. Il se trouvera par exemple que, par usure ou manque d'entretien, le défaut qui se produira sur le premier appareil aura bien des chances de se produire également sur l'autre.

La véritable sécurité en matière de signalisation consiste à simplifier les installations en exigeant, pour leur réalisation, des appareils aussi parfaits que possible, éprouvés non seulement en laboratoire, mais aussi et surtout sur les voies. A ce sujet, il y aurait intérêt, à notre avis, à tirer un meilleur profit de l'expérience des réseaux étrangers. En Amérique notamment, où les installations de block automatique sont particulièrement développées, les panneaux lumineux ne compor-

Digitized by Google

tent qu'un feu par indication, feu d'un diamètre apparent suffisamment grand, et dans lequel, à chaque indication toujours positive, correspond une couleur bien déterminée. Les Américains se passent volontiers et sans inconvénient du porte-pétards, ils attachent et avec raison, plus d'importance au contrôle du signal de voie sur la locomotive. Nous croyons que cette façon de voir est la bonne et nous aurions intérêt, chez nous aussi, alors que l'introduction d'un nouveau type de signal peut à juste titre légitimer une rénovation du code des signaux de 1883, à diriger la signalisation nouvelle sur les points suivants :

1° Adoption d'un seul feu par indication, rouge pour l'arrêt, jaune pour la marche à vue, vert pour la voie libre ;

2° Suppression du détonateur ;

3° Perfectionnement des dispositifs de répétition des signaux sur les machines.

Avec un seul feu par indication, on diminuera la consommation des feux des panneaux lumineux et il deviendra possible d'étendre les applications de ceux-ci.

En supprimant le détonateur, non seulement on simplifiera énormément les schémas d'installation, mais on en réduira le prix d'une façon importante ; l'appareillage nécessaire à la commande du détonateur est en effet aussi complexe que celui nécessaire à la commande du signal lui-même. Ainsi simplifiées, les installations fonctionneront au moins aussi sûrement tout en coûtant beaucoup moins cher d'établissement et d'entretien.

La situation financière des réseaux ne leur permet pas d'entreprendre actuellement de grands travaux pour des installations nouvelles. Aussi y a-t-il lieu que les crédits limités dont ils disposent soient utilisés de la meilleure façon. Celle-ci consiste à remplacer les appareils existants, dont la manœuvre et l'entretien coûtent cher, par d'autres plus chers peut-être d'établissement, mais moins coûteux d'entretien. Aussi le block automatique dont les réseaux étudient l'installation sur leurs grandes artères, n'est-il pas une dépense injustifiée, il n'est qu'une mise au point de la signalisation, conformément au progrès et aux conditions nouvelles de la vie.

Digitized by Google

SEMAINE DE DISCUSSIONS D'OCTOBRE 1926

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

Séance d'ouverture du Lundi 25 Octobre 1926

M. **Legouez**, *Président*, ouvre la séance en ces termes :

MESSIEURS,

J'ai tenu à venir personnellement, aujourd'hui, ouvrir la Semaine d'Octobre de la Société française des Electriciens. C'était à la fois pour moi un plaisir et un devoir. Un devoir, car j'ai des remerciements très cordiaux à adresser à tous les rapporteurs qui ont préparé les discussions qui vont avoir lieu pendant cette semaine, aux Présidents qui, malgré leurs nombreuses occupations, veulent bien nous consacrer quelques heures pour diriger vos débats. Et surtout, vous me permettrez de remercier notre ancien Vice-Président, M. BUNET, qui a suggéré l'organisation de cette Semaine d'Octobre et a ainsi donné à la Société française des Electriciens une vie nouvelle et une occasion d'échanger entre techniciens des idées et des enseignements du plus haut intérêt.

Je pense que vous serez d'accord avec moi pour associer notre Délégué général à ces remerciements.

Je prie M. ROTH, Président de la Première Section, de bien vouloir ouvrir la séance.

Digitized by Google

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Sommaire :

1° Discussion du rapport de M. Berger sur les machines à collecteurs. — M. Gratzmuller : présentation de clichés de machines de ce type construites par Breguet; théorie de la commutation p. 42. M. Darrieus : autre théorie de la commutation, p. 45. Réponse à la note de MM. Langlois et Létrillart, p. 50.

2° Discussion du rapport de M. Ricalens sur les pertes dans les machines électriques. — M. Roth : résultats d'expériences poursuivies avec M. Baumann sur la détermination des pertes dans le fer d'un alternateur lorsque le flux est de forme quelconque, p. 51. M. Belfils : origine des pertes supplémentaires, p. 54 M. Le Monnier : observations sur les pertes supplémentaires dues à la charge dans les moteurs et sur les chutes inductives de pertes (sur une observation de M. Pistoye) : raisons de l'importance des pertes supplémentaires dans les moteurs asynchrones, p. 61. — M. Iliovici : sensibilité dans la mesure des pertes, p. 68. — M. Gratzmuller : méthode de mesure directe des pertes par deux alternateurs montés en récupération, p. 68.

3° Discussion du rapport de M. Fallou sur une nouvelle contribution expérimentale à l'étude des surtensions dans les transformateurs. — M. Bunet : observations sur la fréquence critique et sur la vitesse de propagation des ondes, p. 71. — M. de Pistoye : résultats d'observation sur les avaries dans les spires de transformateurs, p. 72. M. Girault : essais des transformateurs, proposition du Comité électrotechnique des Etats-Unis, p. 74. — M. Kopeliovictch : essais par ondes à front raide, données expérimentales recueillies par la Société Brown-Boveri et Cie, p. 78. — M. Fallou : réponse à M. Kopeliovitch, p. 83. — M. Darrieus : interprétation théorique des phénomènes de propagation, signalés par M. Fallou, p. 85. — M. Dessus : observations sur la proposition du Comité des Etats-Unis, p. 88.

4° Discussion du rapport de M. Genkin sur les procédés statiques d'équilibrage d'une charge monophasée dans un réseau triphasé. — M. Iliovici : observations sur les conventions employées par M Genkin pour la représentation vectorielle; discussion de la condition d'équilibre donnée par la nullité de la puissance fluctuante, p. 89. — M. Darrieus : observations sur les conventions vectorielles, p. 90. — M. Genkin : réponse, p. 91.

Présidence de M. Roth
Ingénieur en Chef à la Société Alsacienne de Constructions mécaniques.

M. Berger présente son rapport sur *l'état actuel de la construction des moteurs polyphasés à collecteur et leurs principales applications.*

M. le Président. — Vous savez que le rapport de M. Berger complète le rapport que vous a présenté, l'année dernière, M. de Pistoye et qui portait particulièrement sur la compensation dans les machines à collecteur. L'ensemble de ces deux travaux résume la situation actuelle des machines à collecteur.

---

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 60, août 1926, p. 775

Digitized by Google

M. GRATZMULLER. — Je félicite M. BERGER du travail d'ensemble qu'il a présenté. La question est si vaste, que les théories du fonctionnement des machines ont été à peine esquissées, mais dans son ensemble, le rapport résume très bien la question au point de vue descriptif. M. BERGER n'a pas voulu soulever de questions d'antériorité et je ne vois pas pourquoi. Pour être logique, il n'aurait pas dû alors citer de noms, même de noms étrangers. C'est peut-être beaucoup demander.

Toutefois, la question commutation ayant été touchée, je me permets d'y revenir. Je désire expliquer sommairement, en raison du peu de temps qui m'est donné, comment ma conception du mécanisme de la

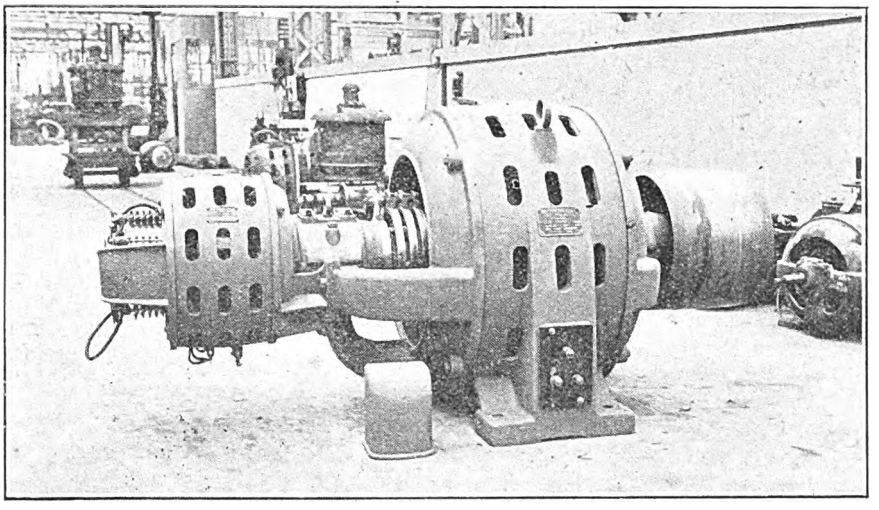


Fig. 1. — Moteur avec excitatrice Gratzmuller.

commutation s'adapte aux moteurs polyphasés à collecteur. Pour retenir plus facilement votre attention, en vous convaincant que théorie et réalisation ont été proches, je vais faire projeter un certain nombre de clichés de machines construites par la Maison Breguet. Cette maison a un grand nombre de machines en service depuis plus d'un an, au moins une centaine si l'on ne compte que les machines motrices, transformant de la puissance électrique en puissance mécanique, plusieurs centaines, si l'on fait intervenir les alternateurs compounds synchrones ou asynchrones excités par l'intermédiaire d'un collecteur. M. BERGER a d'ailleurs fait rentrer cette classe de machines dans son rapport.

Digitized by Google

Voici l'énumération succincte de ces clichés :

1° Moteur de 380 ch, 500 t/m, 3 000 V, 2 machines en service depuis plus d'un an. Ensemble non reproduit au bulletin.

2° Le rotor du moteur précédent avec excitatrice à bagues en bout d'arbre. Cette excitatrice est celle de la figure 14 du rapport de M. BERGER, appelée avanceur de phase du type convertisseur de fréquence, mais le fer extérieur tourne avec le rotor. Ce type de machine, brevet français Thomson Houston n° 349 284, système Gratzmuller, a été expérimenté aux Ateliers Thomson-Houston en 1904. C'est la machine représentée à la figure 3 du rapport ci-joint.

3° Groupe d'excitation de moteurs 580 ch à 5 000 V, 22 pôles

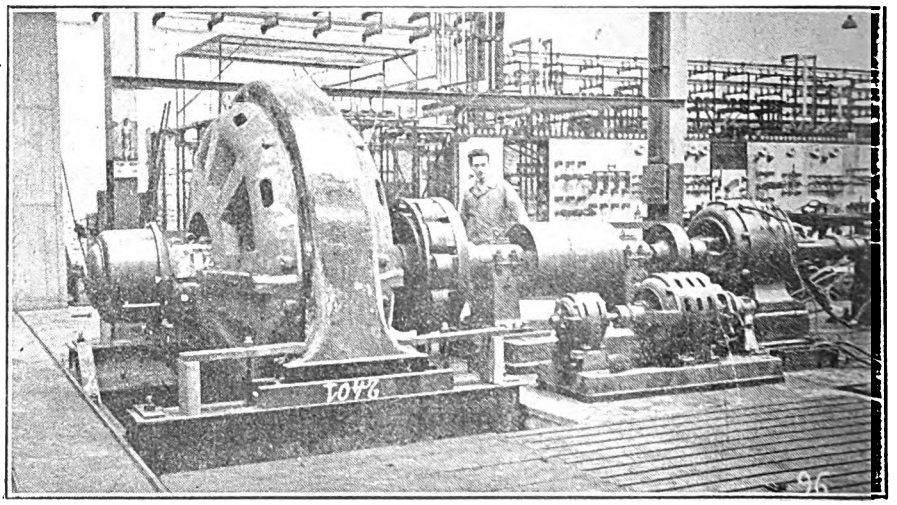


Fig. 2. — Groupe d'excitation M. Leblanc.

(fig. 1). Excitatrice du genre série prévue dans le brevet français Maurice Leblanc de mars 1903. C'est la machine de la figure 11 du rapport Berger, 7 machines en service depuis plus d'un an. La photographie représente au premier plan à gauche le moteur principal et au premier plan à droite le groupe d'excitation.

4° Petit turbo-alternateur de 1 800 kVA compound avec excitatrice à bagues (non reproduit au bulletin).

5° Un petit alternateur compound asynchrone avec excitatrice à bagues de 100 ch. Photographie non reproduite au bulletin.

6° Un moteur de 100 ch, 16 pôles, avec excitation par inductance négative placé en bout d'arbre sans bagues, du genre série (fig. 2).

Digitized by Google

antériorité du principe de cette excitation énoncée par M. Gratzmuller, en février 1903 à la S. F. E.

Sur le même alternateur, nous avons expérimenté l'excitatrice avec stator, muni d'une cage d'écureuil. Nous avons pu vérifier l'auto excitation de l'alternateur *à vide* ou en charge. C'est le type de la machine décrite par nous à la Semaine d'Octobre 1925. C'est la machine de la figure 6 du numéro de mars 1926, du *Bulletin de la S. F. E* Nous avons pu constater sur la machine expérimentée que la commutation, douteuse avec l'excitation par inductance négative ou avec connexion en série, était parfaite avec la disposition d'une cage d'écureuil sur le stator de l'excitatrice.

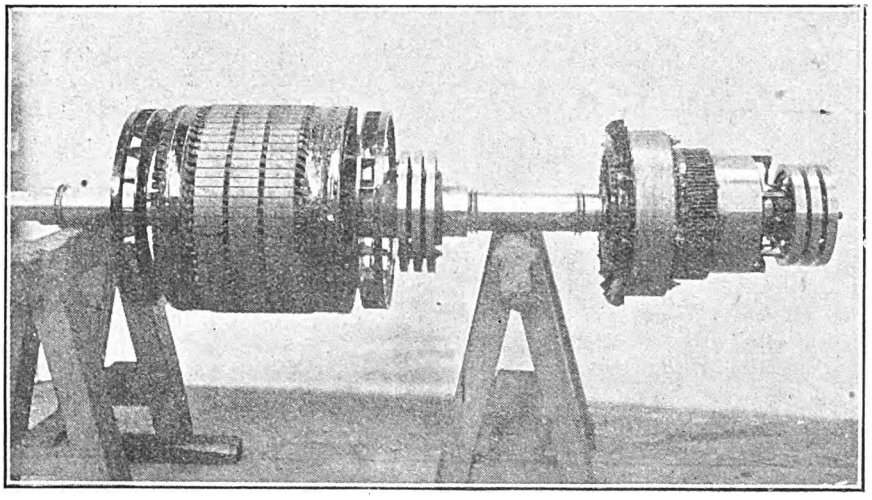


Fig. 3. — Rotor avec excitatrice à bagues Gratzmuller.

7° Un moteur à vitesse variable de 100 ch (fig. 4), un changeur de phases à bagues, entraîné par l'arbre du moteur et comportant un double jeu de balais décalable sur le collecteur à lames (Brevet français de 1905 Thomson-Houston, n° 349 284). Une proposition, concernant une machine d'extraction, fut faite en 1905 avec ce système, aux Mines de Béthune.

Nous signalons que le facteur de puissance pouvait rester voisin de l'unité à toutes charges, mais avec un décalage judicieux des balais. La génération de puissance magnétisante était procurée à chaque instant par l'ensemble des deux machines. Le dimensionnement permettait le

Digitized by Google

réglage de la vitesse avec glissement de ± 30 pour cent, soit une variation de vitesse dans le rapport 2 de la vitesse maxima à la vitesse minima.

8° Deux clichés présentant un petit moteur d'essai de 7 ch du système Blondel, comportant un rotor à collecteur, muni de bagues; deux variantes ont été prévues :

1) avec excitation du stator par courants recueillis au collecteur par trois balais ;

2) avec courant capté par deux balais.

Les deux dispositifs ont été prévus par M. Blondel.

Le moteur peut devenir synchrone dans ce dernier cas.

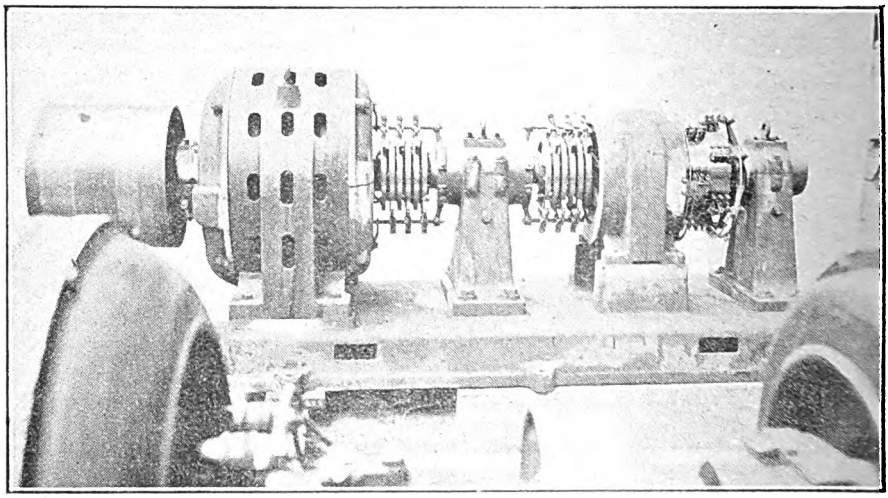


Fig. 4. — Moteur de 100 ch. à vitesse variable.

Nous n'avons reproduit au compte rendu (fig. 5), que la photographie de la machine démontée.

Commutation. — Rappelant les considérations qu'il a développées dans son rapport à la 4e Section (1), sur la nature du contact entre deux surfaces fixes ou mobiles traversées par un courant, le conférencier en déduisait la nécessité de connexions équipotentielles dans les enroulements série-parallèle pour que le courant puisse se partager entre les différentes dérivations d'enroulement. Nécessité qui est

(1) Bulletin de la Société française des électriciens, 4e Série, Tome VI, n° 61, Septembre 1926, p. 950.

Digitized by Google

reconnue, mais n'a jamais été justifiée par une explication scientifique.

Considérons donc, un rotor à collecteur placé au centre d'un champ tournant, que ce champ soit dû aux courants traversant le rotor seul ou aux courants traversant simultanément des enroulements disposés sur le stator.

Les courants que nous demandons au collecteur de fournir ne peuvent être supprimés, ce sont les courants utiles, ils ne sont pas destructeurs.

Mais sous balais, soit entre lames touchant les balais, soit entre une lame quittant un balai et ce balai, peuvent circuler des courants para-

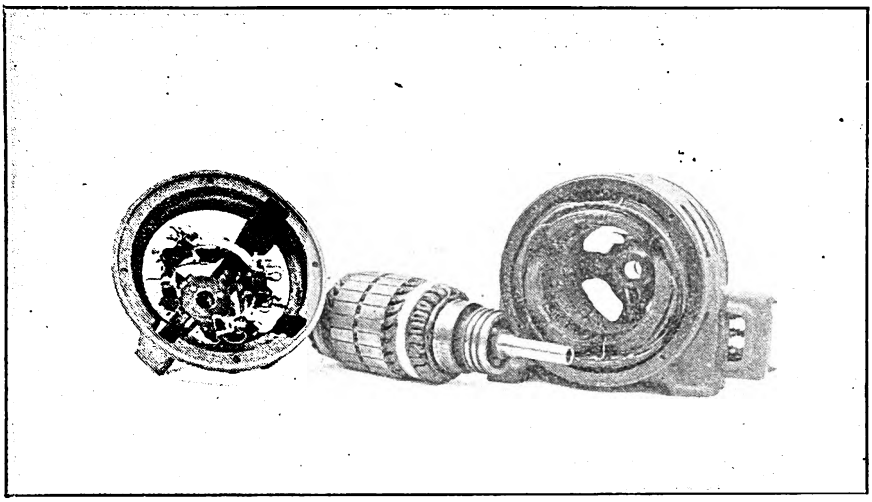


Fig. 5. — Moteur de 7 ch. à collecteur, système Blondel.

sites. Ce sont les courants destructeurs par pertes d'énergie supplémentaires.

Pour que ces pertes d'énergie soient limitées, il faut limiter la tension ε entre lames consécutives touchant un même balai, pour un même nombre de lames touchées par un balai.

De la distribution des ampères-tours des courants utiles, résulte la possibilité de calculer à chaque instant la distribution du champ que l'on suppose généralement, en première approximation, sinusoïdale, champ dû aux courants que nous avons appelés utiles et que l'on peut supposer, en triphasé pour fixer les idées, pénétrer par trois points du bobinage, également décalés physiquement. Mais ce flux tournant,

Digitized by Google

résultant des ampères-tours utiles, développe des f. e m. dans les spires sous balais et de plus, il n'est pas forcément à répartition sinusoïdale.

De plus, on a négligé les f. e. m. dues aux flux variables engendrés par les variations brusques du courant quand les sections passent sous balais.

Il y a là un trouble particulier qui, je crois, ne peut être l'objet d'un calcul précis.

M. Berger a fort bien fait remarquer que cette variation brusque de courant, égale au courant traversant le balai, est diminuée par la multiplication des phases.

Je remarque que, en plus, si le collecteur est alimenté par p balais, c'est-à-dire s'il a p phases, le système de distribution de champs et de courants dans l'espace est restitué sensiblement avec un décalage angulaire de $\frac{2\pi}{p}$, après un accroissement de temps $\frac{T}{p}$.

On conçoit que, à la limite, avec un nombre de balais égal au nombre de lames, quelle que soit la distribution du champ dans l'entrefer, les champs constants se déplacent angulairement avec une vitesse de rotation égale à celle du champ tournant (doù l'intérêt de la multiplication des phases du rotor). Ceci a une importance fondamentale facile à comprendre dans les machines où l'on fait tourner un rotor à collecteur sensiblement à la vitesse du champ tournant.

Le nombre d'encoches, le nombre de lames par pôles interviennent, plus ou moins profondément, pour modifier ce que nous avons appelé la période de restitution du circuit magnétique dans la machine, période où intervient d'une façon fondamentale la durée pendant laquelle les sections sont en court-circuit sous les balais.

Nous voulons appuyer sur l'importance des connexions résistantes entre sections d'enroulement et lames de collecteur. Elles ne modifient pas sensiblement les courants traversant la machine, elles réduisent les courants parasites.

Elles ont une valeur ohmique indépendante de la charge, ce qui n'est pas le cas des résistances *apparentes* aux contacts qui diminuent avec les courants.

D'ailleurs, nous avons indiqué que, par des connexions supplémentaires (*Bulletin S. F. E.*, 3e Série, Tome IV, n° 31, Janvier 1914) pouvant jouer le rôle de connexions résistantes, on peut réduire les tensions entre lames consécutives du collecteur. Nous l'avons

Digitized by Google

réalisé avec succès aux Ateliers Thomson-Houston, sur un moteur à collecteur de 300 ch livré en 1905 et connecté en série pour vitesse variable. Ce moteur, à vitesse variable par variation de la tension d'alimentation, était destiné à remorquer des navires sur une cale sèche.

Le client, M. BASILIADÈS, demandait, il y a trois ou quatre ans, c'est-à-dire vingt ans après, un moteur de rechange identique.

Ce moteur fut expérimenté avec le concours de notre collègue, M. THIELEMANS.

On comprend également l'intérêt de l'étouffement des harmoniques du champ, d'où l'intérêt de l'excitatrice avec cage d'écureuil sur le stator procurant l'excitation à vide et en charge, et que nous avons déjà signalé.

Nous ajoutons que cette cage d'écureuil n'est pas contradictoire avec la disposition d'un enroulement statorique, dont les ampères-tours résultants peuvent se composer heureusement avec ceux du rotor.

En résumé, les tensions ε maxima entre lames consécutives, imposent un flux maximum par pôle.

Notre diviseur de tension permet de doubler au moins ce flux, et par suite, la puissance polaire. Les connexions résistantes permettent d'augmenter la tension ε (*Bulletin S. F. E.*, 3e Série, Tome IV, N° 31).

Un circuit amortissant étouffe les harmoniques ou, dans une certaine mesure, les forces électro-motrices introduites par les sections de commutation et une cage d'écureuil peut être disposée sur le stator pour les faibles fréquences.

C'est cette tension ε qui limite la tension du collecteur au démarrage et, par suite, détermine la surface frottante pour une même puissance fournie.

Conséquence : La surface frottante pour un même ε est proportionnelle au glissement du moteur principal (Communication de M. GRATZMULLER, *S. F. E.*, Juin 1919).

D'où, l'intérêt pour les gros moteurs de la disposition de bagues et résistances pour démarrage en asynchrone ordinaire et du relevage des balais au démarrage.

Il resterait, du reste, encore beaucoup de choses à dire.

M. DARRIEUS. — Si l'on excepte certaines tentatives récentes intéres-

Digitized by Google

santes (1), il n'a guère été émis sur la nature et les propriétés du contact charbon-collecteur, que des conjectures d'ordre plutôt métaphysique. Cependant, il est possible, en n'utilisant que quelques observations très simples, d'édifier une théorie élémentaire de la commutation qui interprète convenablement presque tous les faits, dont la connaissance forme l'expérience du constructeur. Tout d'abord, en courant continu et même, dans une certaine mesure, en courant rapidement variable, le contact ne saurait, en dépit de l'hypothèse d'Arnold (qui ne cadre d'ailleurs pas avec les données pratiques qu'il mentionne), être assimilé à une résistance, même si l'on ajoute à la chute de tension correspondante $b\sigma$ qui dépend de la densité σ une ordonnée à l'origine a. La courbe expérimentale (fig. 1) montre que le contact est plutôt assimilable à un voltamètre, en ce que la tension de contact, dépendant du signe du courant, est, par contre, presque indépendante de la grandeur de ce courant, et en tous cas, reste de l'ordre du volt, même pour les densités de courant instantanées très élevées (de l'ordre de 100 A : cm^2) qui peuvent se produire à l'arête de sortie. C'est notamment ce qu'ont fait ressortir les oscillogrammes, relevés par M. Mauduit au cours de ses recherches sur la commutation (2), et d'où il résulte que, dans le dispositif qu'il a utilisé, la tension entre une lame donnée du collecteur et l'arête de sortie du balai ne dépasse guère pendant toute la durée du contact, une valeur très modérée d'environ 1,3 V et s'élève par contre brusquement à des valeurs grandes, de l'ordre de plusieurs dizaines de volts, lorsque le contact se rompt. Dans ce dispositif, où le balai ne couvrait au plus qu'une lame, la commutation se faisait donc, non par une variation progressive du courant dans la section, mais par la production d'un arc qui devait rompre presque tout ce courant en un temps extrêmement court, à la fin seulement de la période de commutation. Il en va tout autrement dans le cas des machines ordinaires, dont le balai couvre au moins une lame, de sorte que, lorsque la section commutée quitte l'arête de sortie du balai, la section suivante est déjà en court-circuit ; or, ces deux sections présentent toujours entre elles un accouplement inductif très étroit, même si, appartenant à deux encoches voisines, elles offrent

(1) Notamment J. Slepian, *Temperature of a Contact*, Journal of the American Institute of Electrical Engineers, Octobre 1926, p. 930.

(2) A. Mauduit. — Recherches expérimentales et théoriques sur la commutation des dynamos à courant continu ; Société française des électriciens, déc. 1912, p. 601. — Sur la théorie de la commutation, *Ibid.*, janv. 1923, p. 123.

Digitized by Google

l'une par rapport à l'autre une certaine inductance de fuites totales $N = L - \frac{M^2}{L}$ faible en tous cas vis-à-vis de leur inductance mutuelle M ou de leur inductance totale L. La rupture de l'excès i du courant restant dans la section, par rapport à la valeur que ce courant conserve après commutation, n'entraîne plus alors, pour une section ainsi « amortie » par induction mutuelle avec un circuit fermé, qu'une perte d'énergie beaucoup plus faible $\frac{1}{2}Ni^2 = \frac{1}{2}\sigma L i^2$ (où σ est le coefficient de fuites $1 - \frac{M^2}{L^2}\Big)$, au lieu de $\frac{1}{2}Li^2$.

Corrélativement, les sections suivantes « héritent » solidairement, suivant l'expression de M. Latour, de ce courant résiduel qui, dans les hypothèses que nous avons admises pour la tension de contact, se ferme sous balai, exclusivement par les lames extrêmes qu'il recouvre.

Dans le cas particulier d'une sous-commutation (balai en arrière de la vraie ligne neutre), les conditions sont celles représentées pour une dynamo à courant continu par les figures 2 et 3.

Jusqu'à la fin de la période de coupure, la section en cours de commutation conserve le courant $+ i$ de la voie d'enroulement amont, qui diffère de $2i$ de celui qu'elle doit prendre ensuite. La rupture brusque de ce courant $2i$ (fig. 3) se fait sans étincelle, grâce à l'induction dans les n sections suivantes déjà en court-circuit, d'un courant $\frac{2i}{n}$ qui, rentrant dans le balai par la première lame, s'ajoute sur la dernière au courant total $2i$ de cette ligne de balai. Sous l'influence de la force contre-électromotrice que créent entre les extrémités de la chaîne la différence sensiblement constante de 2,6 V, entre les tensions de contact, + 1,3 V et — 1,3 V, que ce courant de circulation établit entre les deux bords du balai, il décroît aussitôt linéairement suivant la loi :

$$-n^2 L \frac{d}{dt}\left(\frac{2i}{n}\right) = 2{,}6.$$

Il atteindra zéro avant le début d'une nouvelle période, si $n^2 \frac{L}{\tau}\frac{2i}{n} < 2{,}6$, c'est-à-dire si la tension de réactance $L\frac{2i}{\tau}$ ne dépasse pas $\frac{2{,}6}{n}$. Ainsi se retrouve pour cette tension de réactance le critérium pratique qui, aux yeux des constructeurs, paraissait (1) inconciliable à première vue avec le fait fondamental mis en évidence par M. Mauduit.

(1) Voir la discussion du mémoire précité.

Digitized by Google

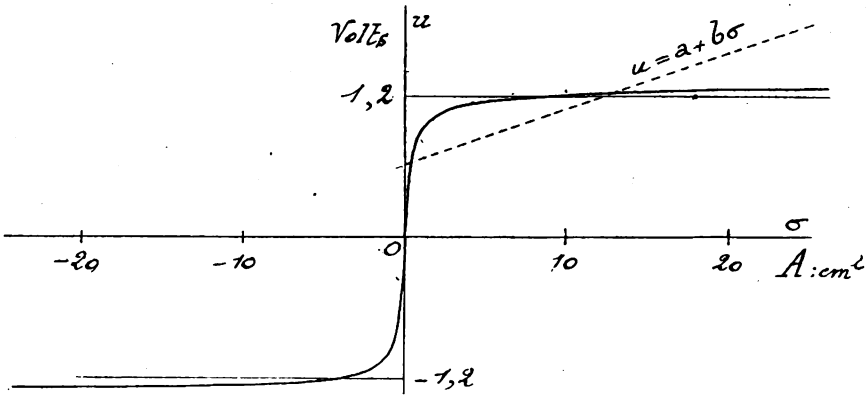


Fig. 1. — Courbe expérimentale de la tension en fonction de la densité du courant dans un contact cuivre charbon.

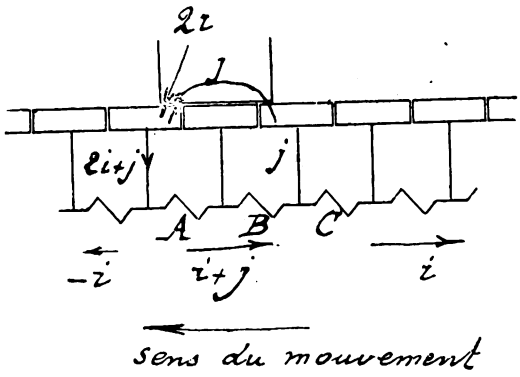


Fig. 2. — Position du balai au temps T (sous commutation).

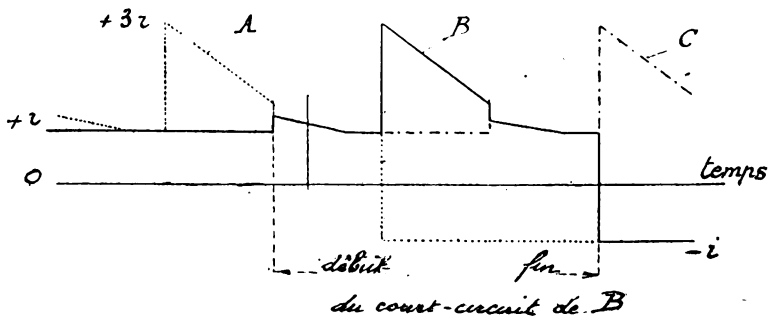


Fig. 3. — Variation théorique du courant dans trois sections dans le cas de sous-commutation où la tension de réactance atteint les 2/3 de la double tension de contact du balai.

Digitized by Google

Dès que cette condition nécessaire est satisfaite par un calage convenable, ou par l'emploi de pôles auxiliaires, il ne reste plus, pour améliorer la commutation en limitant l'énergie cédée sous l'arête de sortie, $\frac{1}{2}\sigma L i^2$ (et d'où résulte souvent pour la dernière section d'un couple d'encoches un marquage périodique de la lame correspondante au collecteur), qu'à réduire à une valeur négligeable l'inductance de fuites de toute section commutée par rapport aux autres en court-circuit. C'est ce que réalise la « commutation cage d'écureuil » caractérisée, suivant M. LATOUR, par le choix d'un rapport du nombre de balais à celui des encoches, tel qu'il y ait toujours par couple d'encoches, au moins une section en court-circuit. Malheureusement, cette condition est presque toujours impossible à réaliser pratiquement, et, contrairement à l'opinion courante, n'est pas remplie notamment par l'enroulement double-imbriqué, ou double-imbriqué ondulé sans connexions équipotentielles, à 12 encoches et 6 lignes de balais par paire de pôles. Par contre, l'enroulement obtenu (1) avec un nombre fractionnaire d'encoches par paire de pôles et un choix convenable des connexions équipotentielles, réalise rigoureusement, par un accouplement inductif très étroit entre sections contiguës, même dans les têtes de bobines, l'amortissement de toutes les sections, sans aucune condition restrictive quant aux nombres respectifs d'encoches et de phases.

A un point de vue différent, cet enroulement réalise strictement une mise en court-circuit de l'armature, comme la solution d'Heyland (1900), consistant à shunter les sections entre lames par des résistances, ou celle du brevet français DE CONINCK (528.026 du 8 novembre 1919) qui assure l'amortissement de la dernière section d'une encoche, en la shuntant par une section auxiliaire placée dans l'encoche suivante ; mais, tandis que le court-circuit porte, dans la solution d'Heyland sur la tension même de la section (de l'ordre du volt) et dans celle de DE CONINCK, sur la différence infiniment petite du premier ordre (de l'ordre de 0,1 V) entre les tensions par section induites dans deux encoches consécutives, dans le bobinage décrit ci-dessus par contre, les tensions résiduelles qui subsistent dans les circuits qu'établissent les connexions équipotentielles, sont les différences secondes de ces tensions ou du deuxième ordre (moins de 0,01 V), de sorte que

(1) Brevet français n° 565.130, déposé le 16 avril 1923.

Digitized by Google

l'effet cage d'écureuil, insignifiant pour l'onde fondamentale, devient un court-circuit franc pour les harmoniques supérieurs de champ, dont le pas approche de celui de la denture.

M. LÉTRILLART donne lecture d'une note sur les *moteurs à collecteur* (1).

M. GRATZMULLER. — M. LÉTRILLART signale l'objection suivante. Il a constaté, avec l'excitation procurée par l'excitatrice à collecteur connectée en série, un amorçage de courant aux bornes de la machine, de fréquence différente de celle du réseau.

Plusieurs machines de ce genre de construction Breguet sont en service, ainsi qu'il résulte des clichés projetés.

J'ai montré, à la Semaine d'Octobre 1925, *Bulletin* de mars 1926, que le moteur peut fonctionner en moteur doublement synchrone. Mais, ce que je n'ai pas dit, c'est qu'au delà d'une certaine charge, un glissement peut s'introduire et nous l'avons constaté.

Mais on conçoit fort bien que le réseau fournissant la puissance électrique puisse être parcouru par des courants de fréquence différente de la sienne et engendrés par le moteur.

C'est la question que je posais à la fin de ma communication (*S. F. E.*, juin 1919).

Une machine asynchrone à collecteur auto-excitatrice ne peut-elle superposer au réseau d'une fréquence propre, des courants d'une autre fréquence? L'observation de M. LÉTRILLART montre que cette remarque n'était pas dénuée de fondement, bien que je ne l'aie pas rencontrée, du moins en courants polyphasés. En un mot, sur un réseau muni de machines synchrones et asynchrones, ne peut-il y avoir qu'un seul chef d'orchestre pour les fréquences des courants fournis au réseau ?

La saturation du fer joue certainement un rôle prépondérant et c'est le point à surveiller dans le cas de machines asynchrones auto-excitatrices.

M. MAILLOUX, Président d'honneur de la Société française des Electriciens, pénètre dans la salle.

M. le Président lui souhaite la bienvenue et l'invite à prendre place au Bureau.

---

(1) Bulletin de la Société française des Electriciens, 4e série, tome VI, n° 63, novembre 1926, p.

Digitized by Google

M. MAILLOUX. — Messieurs, vous me faites un grand honneur. J'estime beaucoup M. ROTH ; je suis le premier à reconnaître les services précieux qu'il rend depuis quelques années à une cause qui a rempli ma vie et c'est à ce titre que je suis toujours content de le revoir. Une autre raison qui me rend cette visite intéressante, c'est qu'il y a 25 ans, dans cette même salle, j'eus l'honneur de faire accepter internationalement les unités de champ et de flux. A la suite d'une polémique assez vive qui s'engagea entre M. MASCART et moi, j'eus l'honneur et la satisfaction d'arriver avant lui au but, c'est-à-dire de faire accepter les unités de Gauss et de Maxwell.

M. RICALENS présente son rapport sur les *pertes dans les machines électriques* (1).

M. ROTH, *Président.* — Dans ma communication présentée en 1923, j'avais posé certains problèmes, dont la solution devait faciliter au constructeur, dans une certaine mesure, la conception et l'exécution des machines électriques.

Une des questions posées concernait l'hystérésis tournante ; elle n'a pas trouvé de solution jusqu'à présent ; mais M. LEHMANN, au cours de ses remarquables travaux, a eu l'occasion de s'en occuper et m'en a laissé entrevoir une solution prochaine.

Un autre de ces problèmes était le suivant. On calcule les pertes dans le fer, en admettant que la courbe de l'intensité du champ dans l'entrefer, la courbe du flux, est une sinusoïde. Or, on sait qu'avec les alternateurs à pôles saillants, elle s'écarte quelquefois considérablement d'une sinusoïde et la question posée était de savoir quelles étaient les pertes dans le fer d'un alternateur lorsque la courbe du flux a une forme quelconque.

Une première réponse à cette question a été donnée par M. GIRAULT dans son excellent travail : « Sur les pertes par courants de Foucault (2) dans les induits des machines électriques », dans lequel M. GIRAULT a donné une solution approximative du problème. M. BELFILS a poussé ces études un peu plus loin, et il va vous exposer tout à l'heure le résultat de ses réflexions.

Moi-même, j'ai cherché à attaquer le problème du point de vue expé-

(1) Bulletin de la Société française des électriciens, 4e Série, Tome VI, n° 60, août 1926, p 809

(2) Électricité et Mécanique, janvier-février 1925, page 4.

Digitized by Google

rimental, avec l'aide de M. BAUMANN, ingénieur à la Société alsacienne. Je me permettrai de vous présenter le résultat de ces expériences.

Sur le rotor d'un petit moteur asynchrone, a été placée une spire embrassant le pas polaire, et dont les extrémités étaient reliées au moyen de deux bagues à un oscillographe ou à un voltmètre. Ce rotor formait l'induit d'un petit alternateur et le stator son inducteur. Par des groupements différents des enroulements des trois phases, il a été possible de produire un certain nombre de courbes de flux, dont nous représentons sur la figure 1 quatre courbes caractéristiques. La courbe I se rapproche de la sinusoïde, II est un trapèze, III est sensiblement de la forme de l'intensité du champ lors du court-circuit des alternateurs et IV ressemble à la forme des courbes de flux produites dans les alternateurs à pôles saillants.

La puissance a été mesurée par un dynamomètre à torsion, les lectures étaient faites par un système optique de haute précision.

Les résultats de ces mesures ont été portés sur les courbes (fig. 2). Pour une même valeur de l'onde fondamentale, les pertes dues aux courbes I, II, IV et III sont dans les rapports :

$$1 : 1.04 : 1.27 : 2.27$$

Les amplitudes des 3e, 5e et 7e harmoniques exprimées en centièmes de l'harmonique fondamental étaient les suivantes :

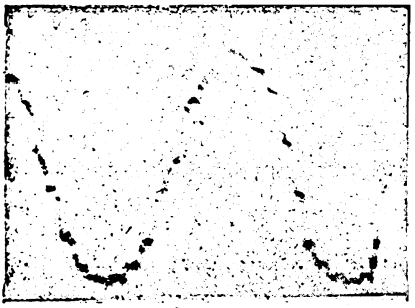
	3e	5e	7e
II	19.1	4.2	2.5
IV	30.5	14.3	3.0
III	67.2	3.3	12.0

Les courbes se rangent par rapport aux pertes dans l'ordre de la valeur du 3e harmonique, M. BELFILS va vous donner d'autres détails à ce sujet, en particulier, il va vous faire voir qu'il est possible d'aborder ce problème par le calcul. Il est donc dorénavant possible de calculer les pertes dans le fer d'un alternateur, pour n'importe quelle courbe de l'intensité du champ.

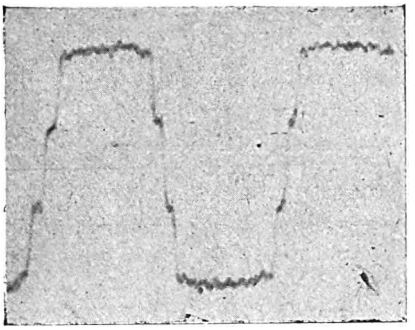
Ce problème est du même genre qu'un autre que j'avais posé dans ma note précitée, et qui concerne la détermination des pertes supplémentaires dues à la commutation dans les barres des induits des machines à courant continu.

Ce problème a été étudié en détail par quelques auteurs allemands.

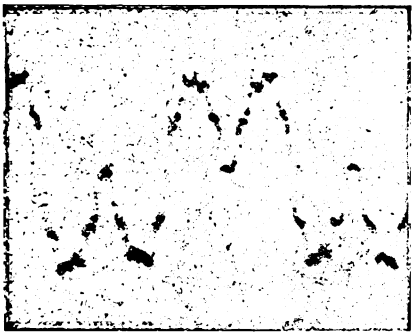
Digitized by Google



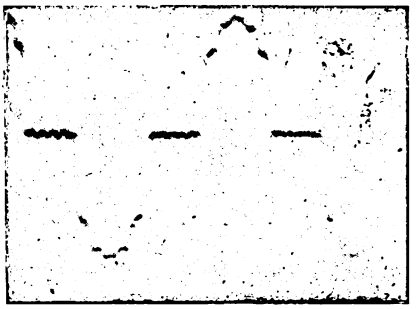
I. — Courbe voisine de la sinusoïde.



II. — Courbe voisine du rectangle.



III. — Courbe voisine du champ en court-circuit.



IV. — Courbe voisine du champ à vide.

Fig. 1. — Courbes expérimentales des champs réalisés pour la mesure des pertes dans le fer d'un alternateur.

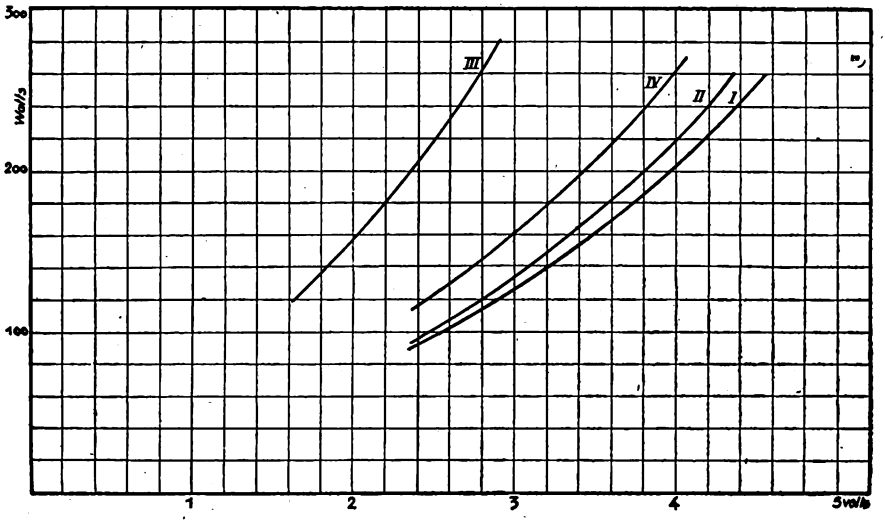


Fig. 2. — Pertes dans le fer d'un alternateur rapportées à la même valeur de l'onde fondamentale, pour différentes formes de la courbe d'intensité du champ.

Digitized by Google

M. BELFILS a également développé les formules permettant de calculer ces pertes.

Pour en revenir aux courbes I à IV, nous avons vu que la courbe III donne la plus grande valeur des pertes. Cette courbe a été réalisée pour répondre à la question suivante : Est-on réellement autorisé, comme on l'admet généralement, à négliger les pertes dans le fer lors du court-circuit d'un alternateur, particulièrement dans les alternateurs à très grandes fuites et à grande réaction d'induit. Soit un alternateur ayant 15 pour cent de fuites, et admettons que la courbe III représente réellement sa courbe d'intensité du champ en court-circuit ; nous pouvons, en admettant que les pertes varient avec le carré de l'induction, faire grosso-modo le calcul suivant : Les pertes dans le fer seront en court-circuit $0.15^2 \times 2.27$, soit 5 pour cent des pertes à vide au flux normal, en admettant des courbes à vide correspondant aux formes I ou II. Pour 20 pour cent de fuites, on obtiendrait 9 pour cent ; ces pertes ne sont donc plus entièrement négligeables, d'autant plus qu'en réalité, le 3e harmonique est bien plus prononcé que dans la courbe III qui a pu être réalisée aux essais.

Et ceci m'amène à une des questions dont je me suis beaucoup préoccupé et dont M. RICALENS vous a parlé, à savoir si les pertes en court-circuit représentent les pertes électriques réelles de la machine ou si elles leur sont supérieures. D'après nos recherches, dont j'ai rendu compte dans la *R.G.E.* et dans le *Journal de l'Institut américain des ingénieurs électriciens*, les pertes en court-circuit représentent réellement les pertes électriques, et la mesure de ces pertes par l'essai en court-circuit peut être introduit dans nos règlements. Les recherches de M. LE MONNIER confirment ce fait. Cette mesure a depuis longtemps été introduite dans le règlement américain. J''ai assez de confiance dans le savoir de nos collègues américains pour croire qu'ils ont introduit cette règle à bon escient, mais il est juste qu'elle ait également été vérifiée chez nous.

M. BELFILS. — *Origines des pertes supplémentaires.* — Après le remarquable exposé de M. ROTH, en 1923, sur les pertes supplémentaires, il semble qu'il ne reste plus grand chose à dire sur cette question ; néanmoins, les recherches concernant la détermination des pertes supplémentaires, en particulier dans les grosses machines électriques, continue à présenter un très gros intérêt pratique ; il ne faut pas en effet perdre de vue que ces pertes représentent fré-

Digitized by Google

quemment 20 pour cent des pertes totales. On doit en rechercher l'origine, afin de pouvoir les réduire et, dans ces dernières années, les efforts des constructeurs ont été dirigés de ce côté. On peut dire, d'une façon générale, que les pertes supplémentaires ont leur origine dans les flux parasites.

En ce qui concerne le corps même des machines, il ne semble pas, si toutes les précautions sont prises, que les pertes supplémentaires spécifiques y puissent atteindre de grandes valeurs ; dans le fonctionnement en charge d'une machine synchrone par exemple, la force magnétomotrice de réaction ne se présente pas sous la forme d'un champ tournant parfait, mais de notables améliorations dans la forme et dans la pulsation du champ sont obtenues par le choix d'un pas convenable de l'enroulement.

Dans tous les cas, la forme du champ résultant en charge peut être

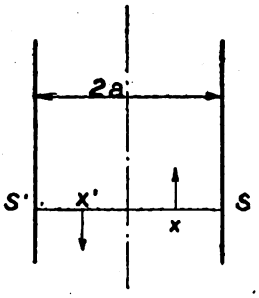


Fig. 1. — Flux à l'intérieur d'une tôle.

prédéterminée ; elle s'écarte généralement assez fortement de la sinusoïde ; mais on peut se rendre compte assez aisément du surcroît de pertes qui en résulte par les considérations suivantes :

Soit une tôle d'épaisseur $2a$ (fig. 1), dans laquelle circulent des flux à différentes fréquences, $f, \ldots 3f, nf$, tous normaux au plan de la figure.

Les équations de Maxwell s'appliquent évidemment, et en un point situé à la distance x de l'axe de la tôle on a :

$$\frac{d\mathfrak{B}_x}{dx} = 4\pi\mu J_x \tag{1}$$

et

$$\frac{d^2J_x}{dx^2} = \frac{4\pi\mu}{\rho}\frac{dJ_x}{dt}. \tag{2}$$

$\mathfrak{B}_x$ induction en x normale au plan de la figure, J_x densité de courant en x parallèle à la face de la tôle et située dans le plan de la figure.

Digitized by Google

De plus, si $\mathcal{B}_{ap}$ est l'induction correspondante au quotient du flux total par la section de la tôle, on a :

$$\frac{1}{2a}\int_{-a}^{+a}\mathcal{B}_x dx = \mathcal{B}_{ap}.$$

Admettons que l'induction $\mathcal{B}_{ap}$ soit une fonction périodique du temps de forme quelconque ; quelle que soit sa variation, nous pourrons toujours la décomposer en une série de Fourier :

$$\mathcal{B}_{ap} = \Sigma\mathcal{B}_n \sin n\omega t.$$

Par conséquent, les quantités $\mathcal{B}_x$ et J_x sont également des fonctions périodiques du temps comprenant tous les termes de la série contenus dans l'expression de $\mathcal{B}_{ap}$ et la résolution de l'équation (2) conduira à écrire :

$$J'_x = f_{11}(x) \sin \omega t + f_{12}(x) \cos \omega t \ldots + f_{n1}(x) \sin n\omega t + f_{n2}(x) \cos n\omega t.$$

En employant les notations de M. Latour dans sa publication d'avril 1918 de la *Revue Générale d'Electricité*, les fonctions $f_1(x)$ et $f_2(x)$ sont de la forme :

$$f_1(x) = A \sin hm\alpha x \cos m\beta_\alpha.$$
$$f_2(x) = A \cos hm\alpha x \sin m\beta_\alpha.$$

Elles tiennent compte des pertes par hystérésis exprimées par un déphasage constant τ de l'induction sur la force magnétomotrice.

Les pertes totales dans la tôle considérée seront par centimètre cube :

$$p = \frac{1}{2a}\frac{\omega}{2\pi}\int_{-a}^{+a}\int_{t=0}^{t=\frac{2\pi}{\omega}} [f_{11}(x) \sin \omega t + f_{12}(x) \cos \omega t \ldots$$
$$+ f_{n1}(x) \sin n\omega t + f_{n2}(x) \cos n\omega t]^2 dx dt ;$$

en intégrant d'abord par rapport à t, on remarque que les intégrales :

$$\int_{t=0}^{\frac{2\pi}{\omega}} f_l(x) \sin p\omega t . f_n(x) \sin n\omega t . dt$$

sont nulles et l'expression précédente se réduit à :

$$p = \frac{1}{2a}\int_{-a}^{+a} [f_{11}^2(x) + f_{12}^2(x) \ldots + f_{n1}^2(x) + f_{n2}^2(x)] dx.$$

Or la quantité sous le signe d'intégration représente la somme des pertes au point x dues à chaque harmonique.

Par conséquent, la perte totale pour l'ensemble de la tôle est égale à la somme des pertes dues à chaque harmonique du flux, si chacun d'eux existait isolément. Nous avons ainsi un moyen simple pour calculer l'augmentation des pertes dues aux déformations du champ et nous pouvons l'appliquer aux cas étudiés expérimentalement par M. Roth.

Digitized by Google

La méthode employée est la suivante : on déduit des courbes de champ relevées, les courbes du flux dans une dent en fonction du temps, en admettant que les inductions s'uniformisent dans la largeur de la dent. De ces courbes de flux, on extrait les différents harmoniques et on calcule les pertes pour chacun d'eux pris isolément ; on somme ces différentes pertes et les nombres ainsi obtenus donnent des coefficients d'augmentation par rapport aux pertes dues au terme fondamental, peu supérieurs à ceux relevés expérimentalement. Les différences s'expliquent d'ailleurs du fait que, dans les essais, certaines pertes (surfaces, couronnes) restent relativement constantes.

Comme autre exemple d'application de la méthode ci-dessus, prenons le cas d'une tôle épaisse entourée par une spire magnétisante soumise à une tension rectangulaire dans le temps

$$E = \frac{4}{\pi} E_{max} \Sigma \frac{1}{2K+1} \sin(2K+1)\omega t.$$

La tôle sera, dans ce cas, parcourue par un flux alternatif de la forme

$$\Phi = \frac{4}{\pi} \frac{E_{max}}{\omega} \Sigma \frac{1}{(2K+1)^2} \sin(2K+1)\omega t.$$

et l'induction apparente sera

$$\mathcal{B} = \mathcal{B}_1 \Sigma \frac{1}{(2K+1)^2} \sin(2K+1)\omega t.$$

Si la tôle est épaisse, pour les fréquences considérées, les pertes par centimètre cube sont, pour l'harmonique de rang $2K+1$ et d'amplitude $\mathcal{B}_{2K+1}$, en appliquant les notations de M. Latour

$$p_{2K+1} = \frac{\omega^2 a \mathcal{B}_{2K+1}^2}{4m\rho} = \frac{\pi}{2} f^{\frac{3}{2}} (2K+1)^{\frac{3}{2}} a\rho^{-\frac{1}{2}} \mathcal{B}_{2K+1}^2$$

mais comme

$$\mathcal{B}_{2K+1}^2 = \frac{\mathcal{B}_1^2}{(2K+1)^\epsilon}$$

on voit que

$$P = p_1 \left[1 + 3^{-\frac{5}{2}} + 5^{-\frac{5}{2}} . \ \ldots + (2K+1)^{-\frac{5}{2}} \right]$$

$$= p_1 \Sigma_0^\infty (2K+1)^{-\frac{5}{2}}.$$

La série $\Sigma_0^\infty (2K+1)^{-\frac{5}{2}}$ est très rapidement convergente, sa valeur approchée est 1,11 et par conséquent, les pertes dans la tôle épaisse considérée, sont 1,11 fois celles dues au terme fondamental.

Digitized by Google

Ce résultat ne serait plus exact pour une tôle mince et, dans ce cas, il y aurait lieu de faire le calcul exact des pertes pour les différents harmoniques par la formule

$$p = \frac{\omega^2 a}{4m\rho} \frac{\alpha \sin h2m\alpha a - \beta \sin 2m\beta a}{\cos h2m\alpha a - \cos 2m\beta a} \mathcal{B}_{ap}^2$$

en donnant à ω, m et $\mathcal{B}_{ap}$ les valeurs correspondantes à l'harmonique considérée.

Dès qu'on arrivera à un rang d'harmonique n suffisamment élevé pour que le terme transcendant soit voisin de l'unité, on sommera globalement tous les termes suivants dans une série

$$p_n^\infty = \frac{\omega^2 a}{4m\rho} \mathcal{B}_{1ap}^2 \Sigma_n^\infty (2K+1)^{-\frac{5}{2}}.$$

Il est à remarquer que la perméabilité apparente de la tôle décroît quand la fréquence augmente, et par conséquent, le courant magnétisant absorbé sera d'une forme différente de celle du flux.

Cette méthode de calcul est applicable également au calcul des pertes supplémentaires dans un conducteur parcouru par un courant de forme quelconque et trouve son emploi dans la détermination des pertes supplémentaires dans les conducteurs de l'induit d'une machine à courant continu ; le problème a été traité par L. Fleischmann (1) dans le cas d'un courant rectangulaire (durée nulle de la commutation).

J'ai moi-même traité le problème dans le cas d'une commutation linéaire de durée finie, c'est-à-dire dans le cas d'un courant trapézoïdal et me propose de le publier prochainement.

Ce qui précède nous indique qu'il est généralement possible, lorsque le champ agissant est connu, de chiffrer les pertes aussi bien dans le circuit magnétique que dans l'enroulement ; si on arrive à des pertes spécifiques exagérées, il sera généralement possible de les réduire et de les ramener à des valeurs acceptables.

Mais ce n'est pas dans le corps de la machine que l'on trouve des pertes supplémentaires spécifiques élevées ; elles se trouvent localisées aux extrémités de la machine, aussi bien dans les parties massives et inactives, plateaux de serrage, couvre-enroulements, pièces de soutènement, que dans les derniers paquets de tôle.

---

(1) Fleischmann : *Arch. für Elektrotechnik* 1914, p. 387

Digitized by Google

Ces pertes sont dues à deux causes principales.

La première est le champ produit par les têtes de bobines, champ non dirigé qui rencontre des parties métalliques massives, souvent magnétiques et non divisées.

La deuxième cause est le passage des conducteurs de l'induit d'un milieu très perméable, le fer du stator, à l'air ; des franges de flux très importantes émanant du ou des derniers paquets de tôles, s'épanouissent dans l'espace compris entre les deux enroulements induit et inducteur et se ferment par la frette si cette dernière est magnétique ; les flux ainsi développés dans le dernier paquet de tôles sont importants et comme ils pénètrent dans les tôles normalement à leur plan, les pertes supplémentaires produites peuvent être très grandes.

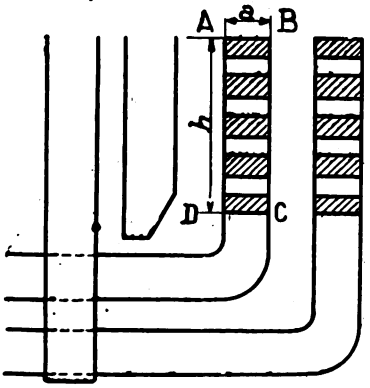


Fig. 2. — Coupe d'un plan de développantes.

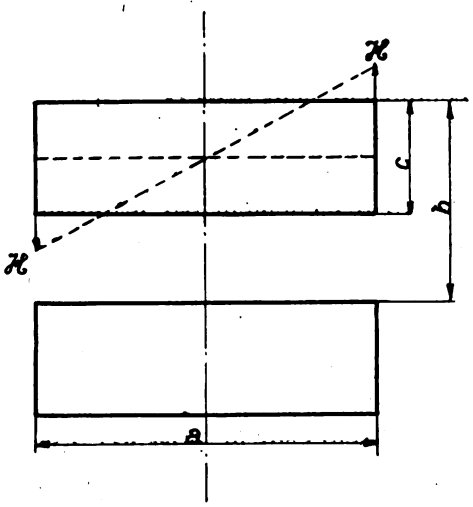


Fig. 3. — Champs dans une section de conducteur.

Enfin, une troisième cause de pertes peut être les courants de Foucault dans les connexions frontales. Mais on peut les chiffrer approximativement et les éviter facilement.

Dans les grandes machines modernes, ces connexions se présentent généralement sous la forme de développantes parallèles représentées en coupe sur la figure 2.

La coupe de l'un des plans de développantes se présente sous la forme d'un rectangle ABCD contenant un nombre de conducteurs égal à la moitié du nombre d'entailles par pôle, si le pas de l'enroulement est égal au pas polaire.

Digitized by Google

Par conséquent, 2/3 des conducteurs consécutifs appartiennent à la même phase et sont parcourus par des courants égaux et de même sens ; généralement, la hauteur h de l'ensemble des conducteurs est grande devant la largeur a de l'un d'eux et, dans ces conditions, en négligeant l'effet des conducteurs de l'autre plan, on peut admettre qu'un champ uniforme H, situé dans le plan de la section (fig. 3) et perpendiculaire aux axes des conducteurs s'établit sur leurs faces externes ; les champs sont de sens opposé sur les deux faces et leur valeur est égale à $\mathcal{H} = \frac{4\pi I_{eff}\sqrt{2}}{2b}$.

Le champ est évidemment nul au centre de la section et les deux moitiés de chaque conducteur se trouvent placées symétriquement; on voit, par conséquent, que le champ sur les faces de chaque demi-conducteur est le même que celui qui serait produit si chaque demi-conducteur était dans le fond d'une encoche de largeur b et soumis à son propre champ.

Les pertes supplémentaires sont dans ce cas bien connues (1) et se calculent facilement par les méthodes habituelles. On limitera facilement ces pertes par un choix convenable des dimensions a, c, b ou en divisant convenablement les connexions frontales sur toute leur longueur.

Revenons aux pertes dans les pièces massives voisines des connexions frontales; on pourrait songer à éviter ces pertes en plaçant des amortisseurs sur le trajet des flux traversant ces organes, de façon à les étouffer. Nous ne pensons pas qu'un tel moyen puisse donner de bons résultats ; en effet, si l'amortisseur est placé près des organes à protéger, il est à craindre que les courants parcourant l'amortisseur donnent lieu à des flux locaux aussi néfastes que les flux que l'on veut étouffer. Il semblerait plus logique de placer ces amortisseurs très près des enroulements, de façon à ce que leur induction mutuelle avec les organes à protéger soit du même ordre que l'induction mutuelle entre l'enroulement et ces mêmes organes ; mais, dans ce cas, les amortisseurs seront parcourus par des courants voisins de la somme des

(1) E. Roth. De la détermination des pertes dans le cuivre des machines à courant alternatif

Th. Lehmann. Protection des conducteurs massifs dans les machines électriques contre les pertes additionnelles par courant de Foucault. *R. G. E.* 25 juin 1921.

Digitized by Google

ampères-tours de chaque pôle ; les difficultés de réalisation et les pertes supplémentaires dans les amortisseurs eux-mêmes deviennent des obstacles quasi insurmontables.

A notre avis, la meilleure solution est d'admettre des distances entre les connexions frontales et les pièces massives suffisamment grandes pour que les champs les atteignant soient réduits ; de plus, ces pièces inactives, couvre-enroulements, plateaux de serrage, sont à diviser le plus possible en éléments isolés les uns des autres ; on les constituera de préférence en matériaux non magnétiques de la plus grande résistivité possible.

En ce qui concerne les pertes dans les pièces massives, il est à noter qu'elles sont, toutes choses égales, proportionnelles au carré de la force magnétomotrice de l'induit. On voit ici apparaître un avantage marqué des machines à fuites systématiquement élevées dans les tôles, puisqu'elles sont établies avec une force magnétomotrice de l'induit réduite.

Quant aux pertes dans les paquets de tôle d'extrémité, il semble que là aussi, on doit s'attaquer à la cause du mal, il faut la voir surtout dans la présence de la frette magnétique dans laquelle les franges de flux émanant du stator se ferment librement.

Le meilleur moyen serait donc l'emploi, pour la construction de ces frettes, d'un métal non magnétique ; dans ces conditions, les franges de flux ne se développeraient plus que sous l'action de la résultante des forces magnétomotrices de l'inducteur et de l'induit, bien plus petite que l'une des deux composantes. Il est donc à souhaiter que nos métallurgistes arrivent à livrer un métal amagnétique ayant les caractéristiques mécaniques convenant à la constitution des frettes.

La conclusion de mon exposé, sera qu'il serait illusoire de chercher à supprimer complètement les pertes supplémentaires, mais par un choix judicieux de proportions des machines et par des dispositions convenables, le constructeur doit arriver, non seulement à éviter les points chauds limitant la puissance des machines, mais à ramener les pertes supplémentaires à n'être plus qu'un faible pourcentage des pertes totales.

M. Le Monnier. — A la suite de l'exposé très complet de l'état actuel de la question des pertes dans les machines électriques qu'a fait M. Richens, je me permettrai de présenter deux remarques, l'une relative

Digitized by Google

aux *pertes supplémentaires dues à la charge*, la seconde relative aux *chutes inductives de pertes*.

M. RICALENS se faisant l'écho des opinions généralement admises dit en particulier (page 835) :

« Les moteurs asynchrones sont tout à fait comparables aux machines synchrones en ce qui concerne la disposition des circuits et les différentes catégories de pertes. Pour les moteurs asynchrones de puissance importante, on a proposé de mesurer les pertes réelles en charge par les mêmes essais que pour les machines synchrones ».

Il est absolument logique, en effet, d'admettre que dans les deux types de machines à champ tournant envisagés, qui présentent tant d analogies, les mêmes phénomènes parasites provoquent les mêmes pertes supplémentaires ; mais la restriction faite de n'appliquer les mêmes méthodes de détermination des pertes qu'aux moteurs asynchrones de puissance importante (et les règles complémentaires ont fixé des limites assez élevées : 500 kVA pour les machines à 2, 4 et 6 pôles, 1 000 kVA pour les machines à 8 pôles et au-dessus), pourrait laisser supposer que les pertes supplémentaires sont négligeables dans les moteurs asynchrones de puissance inférieure, alors que l'on commettrait une erreur grave en ne tenant pas compte de ces pertes pour un moteur synchrone de même puissance ; ce serait là une interprétation profondément inexacte de ces règles, contre laquelle il convient de réagir, d'autant plus qu'elle viendrait confirmer l'opinion communément admise, que le moteur asynchrone à conditions égales de puissance, vitesse et tension a un rendement supérieur au moteur synchrone ou en particulier au moteur asynchrone synchronisé. Cette appréciation résulte, en effet, de la comparaison des rendements *approchés*, déterminés sans tenir compte des pertes supplémentaires ; or, ces pertes sont considérablement plus élevées dans le moteur asynchrone que dans le moteur synchrone, de sorte que si l'on compare les rendements réels de ces deux types de machine, on est conduit à des conclusions diamétralement opposées. Au point de vue de l'économie générale, ce facteur des pertes supplémentaires joue donc un rôle capital et justifie l'intérêt primordial que l'on apporte à cette question dans ces discussions.

Il est incontestable que l'importance relative des pertes supplémen-

Digitized by Google

taires croît rapidement avec la puissance par pôle des machines, mais pour des valeurs très inférieures à celles fixées par les règles complémentaires, leur influence sur les rendements comparés des moteurs asynchrones et des moteurs asynchrones synchronisés, par exemple, est très grande, ainsi que le montre l'exemple suivant pris parmi beaucoup d'autres. Cette comparaison porte sur un moteur de 350 ch à 6 pôles pour courants triphasés de 50 périodes par seconde et 6 000 volts.

	MOTEUR asynchrone	MOTEUR asynchrone synchronisé
Puissance sur l'arbre en KW . . .	260	260
Facteur de puissance	0.925 AR	0,95 AV
Pertes mécaniques en W.	4300	4600
Pertes magnétiques en W	4200	5200
Pertes Joule stator en W.	5300	4400
Pertes Joule Rotor en W.	3200	6300
Pertes dans l'excitatrice en W. . . .	»	1500
PERTES TOTALES APPARENTES EN W.	17000	22000
Rendement apparent sans tenir compte des pertes supplémentaires en centièmes	93,7	92,5
Pertes supplémentaires en W. . . .	8000	2000
Pertes totales réelles en W.	25000	24000
Rendement réel en centièmes. . .	91,2	91,6

Alors que le moteur asynchrone de 350 ch à 990 t/m, si l'on applique littéralement les règles complémentaires, atteindrait le rendement impressionnant, et que l'on a pris l'habitude d'admettre, de 93,7 pour cent, le moteur asynchrone synchronisé n'atteindrait que 92,5 pour cent. En réalité les pertes supplémentaires très importantes de 8 000 watts du moteur asynchrone, contre 2 000 watts du moteur asynchrone synchronisé, ramènent ce rendement à 91,2 légèrement inférieur au rendement réel du moteur asynchrone synchronisé qui est de 91,6.

Ces résultats trouvent d'ailleurs une confirmation tangible dans le fait que le moteur asynchrone synchronisé est en lui-même — excitatrice mise à part — de dimensions plus réduites que le moteur asyn-

Digitized by Google

chrone, ce qui met bien en évidence que les pertes à dissiper doivent être moindres dans le premier que dans le second. Il m'a donc semblé que, pour permettre de juger sainement de la valeur relative de deux types de machines susceptibles de rendre des services équivalents, il convenait d'attirer l'attention sur l'influence d'un facteur que l'on a trop négligé jusqu'à présent et que l'on serait peut-être tenté, par habitude, de continuer à négliger.

En second lieu, la question des chutes inductives dans les machines synchrones, qui avait fait l'objet, au cours des discussions de l'année dernière, d'une étude très documentée de M. SCHMUTZ, se trouve soulevée à nouveau par la notion de chutes inductives de pertes, à laquelle M. ROTH a dû recourir pour arriver à une étude complète des pertes dans ces machines.

L'introduction de cette notion de chutes inductives de pertes est dans la logique même ; mais la détermination de ces chutes inductives de pertes est-elle possible avec une sécurité suffisante ? La chute inductive totale du diagramme de POTIER à laquelle on est amené tout naturellement à la comparer est-elle, elle-même, accessible à une détermination sûre ? Est-il donc prudent de fixer comme une caractéristique constante le rapport de ces deux grandeurs ? Il semble que l'on puisse avoir quelques doutes sur ces différents points.

En effet, ces déterminations reposent en général l'une et l'autre sur la différence de deux grandeurs voisines, différence d'échauffements pour la première, différence de courants d'excitation pour la seconde. Malgré tous les soins apportés aux mesures mêmes, les résultats resteront toujours douteux, parce que la méthode est entachée d'un vice de principe.

En ce qui concerne les chutes inductives de pertes, on peut envisager des perfectionnements aux méthodes calorimétriques qui mettraient leur détermination à l'abri de cette critique. Il suffirait, dans les cas exceptionnels, il est vrai, où cela serait possible, de recourir encore à l'essai en récupération en charge réactive, effectué sur deux machines identiques dont l'une aurait son circuit inducteur monté en deux moitiés connectées normalement en série, tandis que la seconde aurait son circuit inducteur monté en deux moitiés connectées en opposition. On pourrait alors mesurer à la fois, les échauffements 0_1 et 0_2 de chacune des machines et directement la différence $(0_1 - 0_2)$ de ces échauffements en même temps que la puissance totale P absorbée par le sys-

Digitized by Google

tème sous un facteur de puissance égal à l'unité et les dépenses d'excitation A qui seraient d'ailleurs égales entre elles dans chacune des machines. On a alors :

$$\frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 + \theta_2} = \frac{p_1 - p_2}{(p_1 + p_2) + 2A} = \frac{F(U + L\omega I) - F(U - L\omega I)}{P + 2A}$$

D'où l'on déduira :

$$F(U + L\omega I) - F(U + L\omega I) = (\theta_1 - \theta_2) + \frac{P + 2A}{\theta_1 + \theta_2}$$

expression dont tous les termes sont donnés par des mesures directes simultanées. En se reportant à la caractéristique des pertes en fonction de la tension, on pourra déterminer la chute inductive cherchée, si elle est bien indépendante du décalage du courant sur la tension.

On pourra donc déterminer avec une exactitude satisfaisante, mais dans des cas exceptionnels seulement, la chute inductive de pertes. Il n'en serait donc que plus utile pratiquement de connaître le rapport entre cette grandeur et la chute inductive totale du diagramme de Potier, que l'on détermine facilement, sinon sûrement. L'essai en court-circuit ou l'essai en charge réactive ne peuvent en effet donner qu'une valeur approchée. L'essai du stator, rotor enlevé, donne avec plus de précision une tension de réactance que l'on a souvent rapprochée de la chute inductive totale. Mais les avis semblent très partagés sur les rapports entre les deux grandeurs obtenues, l'une à l'aide de l'essai en court-circuit, l'autre à l'aide de l'essai du stator seul, rotor enlevé. Alors que M. Roth (RGE, 7 février 1925) semble admettre que ces deux essais donnent des valeurs concordantes, à condition toutefois d'appliquer des corrections convenables, M. Schmurz en déduit des éléments essentiellement différents, lui permettant de déterminer, d'une part la réactance de fuites propre de l'induit et d'autre part la réactance de fuites totales ramenées à l'induit. Personnellement, je serais disposé à croire que la présence du rotor dans le stator a une influence très marquée sur la tension de réactance. Quelle est donc la tension de réactance ou chute inductive à laquelle on devra rapporter la chute inductive de pertes ? Il semble qu'en présence de ces contradictions, il soit impossible de se prononcer actuellement.

M. le Président. — A mon avis, il faut rapporter la chute inductive des pertes à la chute inductive des fuites du stator seul.

Digitized by Google

M. Le Monnier. — Ce ne serait donc pas à la chute inductive du diagramme de Potier qui ne semble pas se confondre avec la chute inductive des fuites du stator seul et qui figure seule, jusqu'à présent dans les règles.

M. Roth. — Ce serait la chute inductive des fuites du stator seul.

Si vous construisez le diagramme de Blondel, la force électromotrice résultante est la somme géométrique de la tension, plus la chute ohmique, plus la chute inductive ; nous disons que ce n'est pas la chute inductive totale qu'il faut compter, mais une fraction seulement qui est définie comme la chute inductive des pertes.

M. Le Monnier. — Ce rapport a-t-il bien une valeur constante et égale à 0,7 ?

M. Roth. — C'est, jusqu'à un certain point, arbitraire, car, dans nos essais, nous avons trouvé une fois 0,5 et plusieurs fois 1. Dans l'état actuel — puisque personne d'autre que nous n'a fait d'essais, nous n'avons pas de point de comparaison — nous avons admis la valeur 0,7. Quoiqu'il en soit, en faisant cette hypothèse, on se rapproche beaucoup plus de la réalité qu'en ajoutant uniquement la chute ohmique. Nous ne trouverons jamais la vérité absolue, mais nous voulons avoir une règle qui s'applique d'une façon très simple et donne des résultats les plus voisins possibles de la vérité.

En ce qui concerne la comparaison des deux méthodes proposées pour mesurer la chute inductive du stator, nous penchons maintenant en faveur de la méthode à rotor enlevé ; elle est d'une application plus facile que le relevé de la courbe d'intensité de champ en court-circuit qui exige l'oscillographe et présente la difficulté d'un premier harmonique à extraire graphiquement. C'est la raison qui nous amène à préférer la mesure à rotor enlevé.

M. Le Monnier. — La méthode du rotor enlevé, n'opérant pas sur une différence, présentera beaucoup moins d'incertitude.

M. Roth. — Pour appliquer la méthode que vous proposez à la mesure des chutes inductives des pertes, il faut avoir deux machines identiques et combiner les inducteurs de l'une des machines en deux parties montées en sens inverse.

Digitized by Google

M. BELFILS a appliqué cette méthode à Belfort, mais elle rencontre certaines difficultés.

M. LE MONNIER. — Les mesures sont difficiles, mais la méthode est excellente.

M. DE PISTOYE. — M. LE MONNIER signale que les pertes supplémentaires sont beaucoup plus élevées dans les moteurs asynchrones que dans les moteurs synchrones. Mais il nous présente ces faits comme des résultats d'expérience et sans explications. Il serait plus intéressant de justifier ces faits en remontant à l'origine de ces pertes parasites.

M. LE MONNIER. — Il y a à ce fait plusieurs raisons d'ailleurs.

Les pertes parasites dépendent essentiellement du *champ primaire* de réaction d'induit et elles semblent croître comme le carré de ce champ. Or, le moteur asynchrone fonctionne à un *champ résultant* beaucoup plus faible que le moteur synchrone, c'est-à-dire qu'il est établi — pour la même puissance et la même tension — avec un nombre de fils plus élevé, il fonctionne donc avec un *champ primaire* de réaction plus élevé que celui du moteur synchrone et par suite avec des pertes parasites plus grandes. L'écart est encore accru par la différence entre les facteurs de puissance de ces deux types de machines qui entraîne un accroissement du courant dans le moteur asynchrone et par suite un nouvel accroissement du champ primaire de réaction pour ce type de moteur.

Pour les petits moteurs, il est exact que le rendement du moteur asynchrone est supérieur au rendement du moteur synchrone.

Pour la puissance de 50 ch, le moteur asynchrone l'emporte encore sur le moteur synchrone, c'est incontestable, mais, au fur et à mesure que la puissance monte, les rôles se renversent et les puissances indiquées dans les règles supplémentaires, comme valeur limite en dessous desquelles on néglige pratiquement les pertes supplémentaires, me semblent trop élevées, car elles créent une zone entre 100 à 150 ch et 500 à 1 000 ch dans laquelle le moteur asynchrone est injustement favorisé.

M. ROTH. — La raison est la suivante : nous ne pouvons pas employer les méthodes de détermination des pertes supplémentaires pour *tous* les moteurs asynchrones.

Digitized by Google

M. Le Monnier. — C'est une raison pratique. Cet essai est en effet beaucoup plus facile à faire pour le moteur synchrone que pour le moteur asynchrone. C'est donc une gêne pour le constructeur de l'employer; mais, en toute sincérité, les rendements ne sont pas ce qu'on pourrait croire. Dans certains cas, pour des puissances élevées, par exemple 1 200 ch à 750 t/m, on atteindrait avec le moteur asynchrone des rendements dépassant 95 pour cent. Mais ce n'est qu'une illusion.

M. Iliovici. — Deux mots seulement à propos des mesures : M. Ricalens dit que dans les mesures à vide : 1° dans la méthode des deux wattmètres on mesure la différence de deux grandeurs presque de même ordre. Je réponds que rien n'empêche d'employer cette méthode avec des appareils assez sensibles ;

2° on fait des transformateurs qui donnent des erreurs d'angle très petites ; ces erreurs d'angle peuvent être corrigées par les transformateurs de tension et par des mesures précises et dans cet ordre là on n'a qu'à prendre la tension de courant et la méthode des deux wattmètres donnera de très bons résultats.

M. Roth. — Nous avons appliqué cette méthode. M. Ricalens nous a expliqué que, pour le moteur surexcité, la perte était plus élevée que pour le moteur sous-excité. Avec les transformateurs de mesure, on a trouvé l'inverse, dans certains cas et cela, malgré toutes les précautions que nous avons prises.

M. Gratzmuller. — Après les savantes études de M. Roth sur les pertes supplémentaires dans les machines électriques et les expériences nombreuses qui ont été suivies de calculs des ingénieurs de la Société Alsacienne, MM. Belfils, Baumann et Ricalens, après ceux de M. Le Monnier et sa méthode de mesure directe des pertes à vide, avec récupération de la puissance magnétisante sur deux machines identiques, il m'a semblé qu'il serait intéressant de pouvoir mesurer, au moins à titre de contrôle, les pertes directement par une mesure précise en charge autre que la méthode thermique.

Or, il est possible d'essayer en charge deux alternateurs avec récupération et dans ce cas, la mesure directe des pertes se ferait avec une grande précision par une méthode analogue à celle employée pour les machines à courant continu.

Digitized by Google

Supposons deux alternateurs identiques tournant dans le même sens, l'un, moteur, l'autre, générateur de même puissance électrique et ayant mêmes tensions aux bornes du stator.

Avec la charge, le rotor du moteur retarde d'un certain angle sur sa position à vide, tandis que le rotor du générateur avance sur sa position à vide. Le régime étant établi, les arbres des deux machines tournant à la même vitesse de rotation, on peut donc les relier mécaniquement.

Les deux machines peuvent, semble-t-il, continuer à tourner avec stabilité. Si les charges sont égales avant la liaison mécanique des deux arbres, elle sera égale après et la puissance sera fournie sous forme électrique par le réseau.

Si les excitations sont convenablement réglées, les deux machines peuvent n'absorber aucun courant déwatté au réseau.

La puissance peut également être fournie mécaniquement aux deux arbres accouplés ensemble.

La mesure des pertes peut donc se faire, soit électriquement, soit mécaniquement, par la puissance fournie par le moteur auxiliaire qui sera, par exemple, un moteur à courant continu.

Toute la difficulté est de prédéterminer, pour une charge donnée, l'angle de décalage angulaire des moteurs avant accouplement, ce qui est l'affaire des diagrammes de fonctionnement et contrôlera directement leur exactitude, et éventuellement, de prévoir une possibilité mécanique de faire varier facilement cet angle.

Un ajustage pourrait également être obtenu en changeant la phase et la tension aux bornes de l'un des stators ; cela nécessiterait des f. e. m. auxiliaires importantes, mais n'est pas impossible théoriquement.

Remarquons aussi que le même résultat serait atteint par changement des axes des flux résultants statoriques, soit par des connexions différentes des sections disposées ou utilisées dans les encoches, soit par combinaison du premier et du deuxième procédé. On pourrait aussi utiliser un changeur de phases auxiliaires.

Remarquons également que, partant d'un point neutre, on pourrait disposer chaque phase de la première machine en série avec une phase de la deuxième. Les pertes pourraient alors être fournies à l'extrémité des phases couplées par un alternateur auxiliaire à tension faible.

La répartition des valeurs efficaces des tensions par phase aux deux

Digitized by Google

machines serait obtenue, dans ce cas, par le réglage de leurs excitations.

Il nous a semblé que l'esquisse d'une telle solution n'était pas dénuée d'intérêt et est susceptible d'apporter un moyen de contrôle de travaux considérables et de permettre d'effectuer des essais sur de grandes puissances avec de faibles dépenses d'énergie.

Elle détruit cette croyance à l'impossibilité des essais en récupération des machines synchrones.

M. DARRIEUS. — Nous avons fait des essais de ce genre pour deux turbo-alternateurs. Mais il est difficile de faire varier le décalage, les puissances réactives et actives sont liées, l'interprétation des résultats est malaisée.

M. GRATZMULLER. — Je ne dis pas que cela puisse se faire pour toutes les machines mais, étant donnés les efforts énormes faits pour des essais, étant données les difficultés qu'on rencontre pour mettre les turbos au point, je crois qu'il serait intéressant de mettre les machines en charge, avec une puissance réduite au besoin, aux ateliers. Quant à l'accouplement, un Américain a proposé une disposition de manchons pour régler l'angle des arbres accouplés. Ce n'est pas très compliqué ; je crois qu'au point de vue essai, ce doit être possible .

M. BELFILS. — Je partage la manière de voir de M. DARRIEUS : le manchon d'accouplement décalable est assez facile à faire pour une petite puissance, mais pour de grosses unités je ne crois pas que ce soit aisé.

M. FALLOU présente un rapport intitulé : *Nouvelle contribution expérimentale à l'étude des surtensions dans les transformateurs* (1) et il ajoute :

Depuis que j'ai fait ce rapport, j'ai eu connaissance de ce que certains transformateurs, qui ont merveilleusement résisté à l'essai par ondes à front raide, ne résistent pas en exploitation quand il se produit un claquage à haute tension ; l'expérience montre donc une fois

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 63, novembre 1926, p. 1245.

Digitized by Google

de plus que les essais sont au moins insuffisants ; ce phénomène est d'ailleurs assez facilement explicable lorsqu'on a pu observer à l'oscillographe la forme de l'onde, mais il serait prématuré d'apporter des renseignements complémentaires sur ce point.

M. BUNET. — Puisque j'ai à commencer la discussion et que nous restons en somme dans la suite et le complément de ma communication de 1922, et du rapport que j'ai présenté il y a deux ans, je veux d'abord remercier M. FALLOU du travail important qu'il nous a apporté et des expériences qu'il a réalisées, car c'est surtout elles qui comptent en définitive. Je suis heureux de voir que, dans l'ensemble, elles apportent des vérifications satisfaisantes à beaucoup des points que je signalais.

A propos de la *fréquence critique*, lors de ma communication de mai 1922 à la Société, ce passage brusque d'un mode de transmission à un autre tout différent ne me paraissait pas entièrement satisfaisant ; j'avais parlé d'influences diverses, notamment de celles de mutuelles inductances qui transformeraient le passage brusque en une plage de transition. F. FALLOU apporte-là des compléments éclairant et précisant davantage la question.

Pour la *vitesse de propagation*, il faut d'abord s'entendre sur le sens que l'on attribue à cette expression. La formule 1 : $\sqrt{lc}$ est obtenue en partant de l'équation des télégraphistes : elle donne, pour une ligne simplement formée de deux fils parallèles sans aucune addition, la vitesse avec laquelle se transmettrait un signal et qui a pour valeur supérieure la vitesse de la lumière. Mais si on ajoute à la ligne simple des appareils divers, comme des condensateurs, des self-inductions, en série ou en dérivation, la vitesse obtenue par cette même formule ne conserve plus la même définition générale ; elle peut, notamment, devenir aussi grande qu'on le désire si l'on diminue l et c artificiellement par l'introduction de condensateurs et de self-inductions respectivement. Elle peut devenir infinie si l'un des termes s'annule. Elle peut devenir imaginaire si l'on admet que l'un d'eux peut devenir négatif. C'est ce qu'on trouve lors de la propagation hyperbolique dans les transformateurs, en appliquant les formules d'une certaine façon. Cela veut dire que la vitesse de propagation est inexistante sous cette forme. Cependant, il existe encore évidemment une vitesse avec laquelle se transmettrait un signal, qui est finie et limitée, ainsi que des vitesses relatives à la phase qui peuvent prendre toutes valeurs : c'est

Digitized by Google

celles-ci que considère M. FALLOU. Je rappellerai que, dans l'important travail de M. DARRIEUS sur les lignes de transmission (1), une question analogue est posée à la fin et je me souviens avoir eu avec notre collègue une correspondance à ce sujet, dans laquelle il me communiqua de très intéressantes explications. Mais il me paraît difficile d'aborder une discussion générale de cet ordre, à propos des transformateurs, sans y avoir un peu réfléchi.

En ce qui concerne les essais avec ondes à front raide présentés jusqu'ici, je suis toujours de l'avis exprimé par M. FALLOU. Je ne dis d'ailleurs pas que ces essais sont inutiles ; ils peuvent avoir leur place dans les ateliers du constructeur pour son usage, en décelant des contacts, des insuffisances d'isolement, des imperfections de la main-d'œuvre. Mais pour l'exploitant il en est autrement ; si cet exploitant a assisté à des essais satisfaisants de cet ordre, il n'emportera aucune certitude spéciale quant à la façon dont son transformateur résistera ; je crois qu'il n'aura qu'une illusion.

M. DE PISTOYE. — J'étais, il y a une quinzaine d'années, ingénieur d'une maison qui construisait beaucoup de transformateurs. Elle en avait fabriqué plusieurs milliers dans les années précédentes et, de temps en temps, des appareils avariés rentraient en usine pour réparations. Ceux-ci étaient en général de faible ou de moyenne puissance (inférieure à 500 kVA), car, pour les grosses unités, en raison des frais de transport, les réparations ont généralement lieu sur place. Pendant plusieurs années j'ai eu soin d'assister moi-même au démontage de ces transformateur et d'en examiner en détail les parties avariées.

Ceci m'a permis de faire les constatations suivantes : presque toujours une des bobines réunies aux bornes de ligne était complètement noircie et, dans le centre de celle-ci, se trouvaient, en un point, des gouttes de cuivre fondu qui mettaient en court-circuit les spires voisines ; manifestement, l'origine de l'accident était un claquage à cet endroit, car la carbonisation de l'isolant était maxima au voisinage des spires intéressées par ce court-circuit et elle allait en décroissant au fur et à mesure que l'on s'en écartait. En général, on voyait sur le cylindre isolant séparant la haute de la basse tension un cercle noir indiquant que la galette, en grillant, avait peu à peu brûlé le manchon isolant ;

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e Série, Tome III, Août 1923, p. 534.

Digitized by Google

le plus souvent, quand la carbonisation était très complète, on trouvait un trou dans le cylindre dans la partie noircie et le transformateur se trouvait, de ce fait, à la masse. Mais il était, pour ainsi dire toujours, manifeste que le claquage à la masse était la conséquence d'un accident initial survenu dans une galette d'extrémité réunie à la ligne, et non la cause première de l'avarie. Le renforcement des isolements des bobines d'entrée, auquel j'ai procédé à la suite de ces constatations, a d'ailleurs eu pour effet de réduire considérablement le nombre des accidents ; si la cause en avait été dans un défaut d'isolement à la masse, celui-ci étant demeuré le même que précédemment, le nombre des avaries n'aurait eu aucune raison pour diminuer.

Il y a lieu d'observer que, parmi les transformateurs construits plusieurs années auparavant par cette Société, se trouvaient bon nombre d'appareils à 15 000 V qui avaient été essayés à la masse suivant l'ancien règlement de l'Union des Syndicats, à 24 000 V seulement. Ces appareils ne claquaient pas plus souvent à la masse que les autres : les apparences étaient toujours que l'origine de l'accident était entre spires, au voisinage d'une borne de ligne.

Je souscris donc intégralement aux conclusions de M. Fallou : pour les transformateurs de puissance faible ou moyenne, la grande majorité des accidents a pour cause un claquage entre spires au voisinage d'une borne d'entrée.

Ainsi que je l'ai dit, j'ai eu rarement l'occasion de pouvoir examiner en détails, en usine où l'on a les facilités nécessaires, des transformateurs de grande puissance avariés. Je crois qu'il serait imprudent de généraliser pour ceux-ci les conclusions précédentes. Les galettes des gros transformateurs sont généralement bobinées en ruban de cuivre enroulé à plat en spirale, chaque spire constituant une couche ; la capacité entre spires est considérable, par suite de cette forme plate du cuivre employé; cette capacité élevée permet aux surtensions de se propager très loin dans le bobinage, souvent jusqu'au point neutre ; les claquages entre spires sont donc à craindre dans une certaine mesure dans tout l'enroulement.

Pour les appareils de faible ou de moyenne puissance, au contraire, on emploie du fil rond, ou du cuivre rectangulaire dont les deux dimensions sont voisines l'une de l'autre ; la capacité entre spires se trouve très réduite du fait de cette forme du profil de cuivre adopté et aussi de sa section plus faible résultant de la puissance moindre du transformateur. Cette faible capacité rend bien plus difficile la propa-

Digitized by Google

gation de la surtension dans l'appareil, et c'est là, je crois, la cause de la localisation des accidents dans les premières spires pour les appareils de puissance modérée.

M. GIRAULT. — Parmi les questions mises à l'ordre du jour du Comité des spécifications de la Commission Electrotechnique Internationale, figure celle de essais de rigidité diélectrique entre spires des transformateurs, y compris l'épreuve dite par « ondes à front raide ».

Chargé de faire un rapport à ce sujet au Comité Technique du Gros Matériel, je donnerai ici connaissance de ce rapport. En ce qui concerne l'épreuve par « ondes à front raide », on y trouvera quelques observations timides, mais dont l'intérêt semble s'être trouvé confirmé par quelques résultats expérimentaux obtenus par M. ROTH à la Société Alsacienne; cette Société aurait pu reproduire sur certains transformateurs, en employant la méthode Brown Boveri, *avec tension supérieure à celle indiquée* pour cette méthode, des dommages analogues à ceux obtenus dans la pratique de certains réseaux.

Epreuve de rigidité diélectrique entre spires.

Les règles relatives aux « conditions de réception des machines électriques », établies par l'Union des Syndicats de l'Electricité les 11 janvier et 2 mai 1923, et homologuées par le Comité Electrotechnique Français le 20 mars 1924 (Publication, n° 131) n'envisagent pas en principe une épreuve de rigidité diélectrique entre spires des transformateurs.

Ce n'est qu'indirectement qu'une épreuve de cette nature est indiquée au § 60 *bis*, afin de pouvoir éprouver, par tension induite, la rigidité diélectrique, par rapport au bâti, d'enroulements dont un point est relié à la cuve et à la terre.

Cependant, depuis déjà une vingtaine d'années, la plupart des maisons françaises de construction électrique soumettent tous les transformateurs à une épreuve de rigidité diélectrique entre spires qui consiste à alimenter l'un des enroulements sous une tension double de celle normale, pendant une minute, la fréquence pendant cet essai étant au moins double de la fréquence normale, afin d'éviter la saturation des noyaux magnétiques.

A la réunion de New-York de la C. E. I. (avril 1926), le délégué des Etats-Unis a présenté à ce sujet la proposition suivante :

Digitized by Google

« *Essais diélectriques. — Transformateurs* ».

« A. Entre spires : le Comité des Etats-Unis propose que l'essai soit « fait en développant dans chaque enroulement d'un transformateur, « une tension induite égale à deux fois la tension normale développée « par l'enroulement ».

« Comme cet essai nécessite toujours l'emploi d'une fréquence plus « élevée que la fréquence normale, il est permis de réduire comme « suit le temps de l'essai ».

Fréquence de la tension d'essai en périodes par seconde	Temps en secondes
—	—
120	60
180	40
240	30
360	20
400	18

« Des exceptions à cette règle générale sont couvertes en détail dans « l'instruction adressée par le Comité des Etats-Unis, au Bureau Cen- « tral, à la date du 22 janvier 1926 ».

La proposition américaine se confond avec la pratique française en ce qui concerne la tension d'épreuve ; par contre, elle introduit cette règle nouvelle consistant à réduire la durée de l'épreuve lorsque la fréquence augmente, en maintenant constant et égal à 7 200 le nombre total de périodes durant l'essai.

Cette règle nouvelle est-elle légitime ?

Nous sommes tentés d'en approuver le principe au point de vue qualitatif, pour les raisons suivantes :

Les pertes d'un condensateur soumis à une tension alternative sont sensiblement proportionnelles au carré de la tension, et la plupart des expérimentateurs ont trouvé qu'elles croissaient avec la fréquence pour une tension constante ; certains ont trouvé des pertes sensiblement proportionnelles à la fréquence dans ces conditions.

La plupart des images les plus simples admises pour la représentation des condensateurs par des couplages de capacités pures et de résistances conduisent à des pertes *croissant* avec la fréquence, bien que tendant vers une limite, quand la fréquence croît indéfiniment.

Les essais effectués sur des condensateurs à différentes fréquences, particulièrement sur des condensateurs à huile parfaitement sèche, se-

Digitized by Google

raient fort instructifs pour notre sujet, le diélectrique de tels appareils étant semblable à celui des transformateurs.

Faute de documentation complète, nous sommes d'avis d'accepter le principe de la règle nouvelle du Comité des Etats-Unis, puisque la *croissance* des pertes, et par suite de l'échauffement avec la fréquence pour une tension constante semble très probable, que certains essais montrent qu'il en est de même pour la tension de claquage, que la loi proposée est la plus simple que l'on puisse imaginer et que l'étendue des fréquences à employer pour notre épreuve est assez limitée.

Cependant, nous ferons observer que le Comité des Etats-Unis a pris comme fréquence de départ, celle de 120 périodes par seconde double de la fréquence de 60 périodes, normale aux Etats-Unis, mais un peu spéciale.

Au lieu d'une valeur donnée de la fréquence d'essai, nous estimons qu'il serait préférable d'indiquer dans la première colonne du tableau, le rapport de la fréquence d'essai à la fréquence normale du transformateur, et nous proposons une durée de l'épreuve de 60 secondes, lorsque ce rapport est égal à 2, le produit de ce rapport par le temps de l'épreuve en secondes devant être égal à 120 secondes :

Le tableau deviendrait :

$\rho = \frac{\text{fréquence d'épreuve}}{\text{fréquence normale}}$	t, temps de l'épreuve en secondes
—	—
2	60
3	40
4	30
6	20
8	15

la valeur de ρ devant être au plus égale à 8.

Essais des transformateurs par ondes à front raide.

Les méthodes proposées jusqu'à ce jour pour l'essai des transformateurs au point de vue de leur résistance aux ondes dites à front raide, ont reçu jusqu'ici un accueil défavorable ; on reproche à ces méthodes de soumettre les appareils à des épreuves dont l'efficacité ne peut être précisée et dont la valeur est par suite illusoire :

Les deux méthodes les plus connues sont la méthode allemande et la méthode suisse.

Digitized by Google

Dans la méthode allemande, on alimente le transformateur au moyen d'un alternateur par son enroulement basse tension, et on met en série avec chacune des jambes de l'enroulement haute tension, un éclateur soufflé et un condensateur, les extrémités libres des condensateurs étant réunies entre elles.

Dans la méthode Brown Boveri au contraire, il n'est pas fait emploi de condensateurs ; on réunit en principe une extrémité d'enroulement (primaire ou secondaire) à l'une des sphères d'un éclateur soufflé dont l'autre sphère est réunie à la masse de l'appareil, cette masse étant réunie d'autre part à une autre extrémité d'enroulement par l'intermédiaire d'une résistance. La source d'alimentation est branchée aux deux extrémités de l'enroulement que l'on vient d'envisager. La note de la Société Brown Boveri présentant cette méthode expose les considérations suivantes :

« La formation d'ondes à front raide, en cours d'exploitation, est « due presque exclusivement à des arcs de mises à la terre se produi- « sant dans le voisinage des transformateurs. Pour se rapprocher au- « tant que possible des conditions existant en service normal, on doit « reproduire fidèlement ces mises à la terre. Autrement dit, on créera « des ondes à front raide dans l'enroulement dont on vérifiera l'iso- « lement, en provoquant une décharge après avoir porté la borne « considérée au potentiel voulu par rapport à la terre. Dans ce but, on « insère un éclateur à boules entre la terre et la borne de la phase à « essayer, le potentiel de cette dernière étant élevé par la tension même « du transformateur, jusqu'au moment où l'éclateur entre en action. « La tension de la borne considérée s'annule subitement, ce qui donne « naissance à une onde à front raide. Sa hauteur correspond à la ten- « sion qui régnait entre les boules de l'éclateur immédiatement avant « la décharge, c'est-à-dire à la distance explosive de l'éclateur ».

« L'onde ainsi obtenue développe, dans l'isolant de la colonne, une « contrainte identique à celle qui résulte d'un amorçage d'arc acci- « dentel en cours d'exploitation. Par des changements de con- « nexions appropriés entre les bornes du transformateur, l'éclateur à « boules et la résistance, il est possible de vérifier successivement l'iso- « lement de chaque phase du transformateur ».

« Afin d'éviter l'introduction de quantités inconnues dans les me- « sures (par exemple, la grandeur de la résistance de mise à la terre), « on relie l'éclateur à la masse et à la borne utilisée sur le transfor- « mateur par des conducteurs aussi courts que possible. On se rap-

Digitized by Google

« proche, de cette manière, des conditions dans lesquelles se produi-
« sent, en réalité, les amorçages d'arcs aux bornes et on assure l'uni-
« formité des essais ».

N'y a-t-il pas dans ce passage de la notice Brown Boveri une force réelle d'argumentation ? Il semble bien que, quoique l'on fasse, il ne sera guère possible de s'approcher davantage des conditions qui peuvent se présenter dans la pratique *du fait du transformateur lui-même*, abstraction faite des conditions variables pouvant résulter de la diversité dans la nature des réseaux.

Nous croyons en conséquence qu'il serait bon d'étudier la méthode Brown Boveri et, si possible, d'effectuer des comparaisons entre les résultats obtenus en appliquant cette méthode et les résultats d'exploitation.

De l'exposé qui précède, il résulte, à notre avis, qu'il serait *prématuré d'adopter* actuellement la méthode B. B. C., mais aussi qu'il serait *urgent d'étudier* cette méthode et de recueillir parallèlement à cette étude une documentation sur les accidents qui se présentent dans la pratique d'exploitation, en essayant de faire ressortir dans cette documentation les causes et les effets.

Il serait nécessaire de soumettre à la critique les considérations de la notice B. B. C. rappelées ci-dessus, de voir si ces principes de base résistent à l'examen.

Enfin, en ce qui concerne les précisions à déterminer au sujet de la méthode B.B.C. il y aurait lieu de considérer celles relatives à la valeur de la tension appliquée, à la valeur de la fréquence, à la durée de l'application, à la valeur de la résistance, au soufflage de l'éclateur.

M. Roth, *Président.* — M. Girault a tenu à dire que la méthode suisse pouvait avoir des justifications. A la Société Alsacienne, nous avons fait de nombreux essais dans le détail desquels je ne peux pas entrer, mais d'où il semble résulter, comme M. Fallou l'a dit, que cette méthode d'épreuve est insuffisante et d'autre part qu'il est très difficile d'en tirer des conclusions.

M. Kopeliowitch, Ingénieur de la Société Brown Boveri et C^ie^, membre de l'Association suisse des Electriciens.

Lors des recherches faites par la Société Brown Boveri et C^ie^, au sujet de l'essai par onde à front raide, nous avons constaté une variation de

Digitized by Google

la contrainte entre spires (mesurée à l'éclateur) avec la variation de la distance du transformateur à l'endroit où l'on engendrait les ondes. Nous avons expliqué ce fait par des phénomènes de résonance se produisant dans les différents circuits oscillants composés par les capacités entre spires et à la masse et par inductance entre les spires de l'enroulement. Nous n'avons jamais pu constater, faute de moyens d'expérimentation suffisants, que l'enroulement oscille en entier. Comme on sait, c'est seulement en faisant certaines hypothèses simplifiant la solution du problème général, qu'on arrive à assimiler l'enroulement à une ligne à constantes réparties uniformément. Les équations de ligne semblaient n'être applicables qu'avec une approximation insuffisante (1). Le fait contraire étant directement confirmé par l'expérience, nous n'avons qu'à présenter notre hommage aux auteurs.

Les calculs faits par M. FALLOU, ainsi que ses expériences, montrent que les oscillations d'un enroulement ne peuvent jamais engendrer entre spires, même dans le cas d'une résonance parfaite avec la ligne, c'est-à-dire dans le cas le plus favorable, des tensions aussi élevées que celles que l'éclateur a permis de relever lors de nos recherches sur l'essai par onde à front raide. Nous ne croyons pas que dans la pratique les surtensions maxima, telles que la théorie des oscillations libres les donne puissent se produire, car la valeur théorique du coefficient de surtension est obtenue en partant de la considération des ondes entretenues. Or, dans la plupart des cas, les ondes migratrices s'amortissent rapidement sous l'action de l'effet Kelvin et à cause des pertes par effluves. Outre la résonance parfaite entre le réseau et la fréquence propre du transformateur, il faudrait donc que la dissipation d'énergie par ces deux phénomènes soit négligeable. Sans vouloir diminuer la valeur des résultats acquis par les recherches en question, je ne crois pas que les perforations entre spires soient en général dues aux oscillations des enroulements. Par contre, les claquages à la masse peuvent dans bien des cas être ramenés à ce phénomène.

Voyons ce que montre la statistique. Tout à l'heure M. DE PISTOYE a communiqué le résultat de ses observations sur un grand nombre de

(1) Qu'il me soit permis de dire en passant qu'au cours des études récentes que nous avons faites à Baden au sujet de surtensions d'enclenchement et de déclenchement des transformateurs à vide, nous avons pu observer sur les oscillogrammes des oscillations atteignant 3 à 5 000 p : s. Ce phénomène a été attribué par nous aux oscillations propres de l'enroulement et son étude sera poursuivie à l'aide d'un oscillographe cathodique.

Digitized by Google

transformateurs détériorés et en a tiré la conclusion que la cause la plus fréquente des défauts est une perforation entre spires d'entrée. Notre statistique confirme ce point de vue (1). Nous avons eu l'occasion de voir les statistiques d'un autre pays; là encore les proportions sont analogues. Nos statistiques révèlent que le plus grand nombre de claquages s'est produit entre spires d'entrée d'enroulement, il y a un nombre sensiblement plus faible de perforations entre spires du milieu d'enroulement et encore beaucoup plus faible dans la région du point neutre. Je parle ici surtout des unités de puissance moyenne. *Quant aux tranformateurs stationnaires modernes, c'est-à-dire possédant une isolation renforcée uniformément, nos statistiques ne révèlent plus du tout de claquages entre spires.* Ceci se rapporte aux transformateurs de petite et grande puissance.

Je voudrais encore citer un cas d'exploitation qui est intéressant. Un assez grand nombre de transformateurs dans un réseau de distribution de 10 et 12 kV avait des spires d'entrée avec isolation renforcée. Les perforations entre spires, très fréquentes dans ce réseau, se produisaient à la suite immédiate des spires renforcées. Ce fait est dû évidemment à une isolation insuffisante de l'enroulement en dehors de la partie d'entrée, mais il montre clairement quelle importance atteignent les contraintes entre spires.

Ces quelques remarques montrent que les oscillations, telles

---

(1) Voici quelques données plus précises :

Nous avons vu 62 transformateurs stationnaires dont la détérioration aurait pu, d'après notre avis, être évitée soit par l'emploi de méthodes plus appropriées d'essais, soit par la protection plus efficace contre les surtensions. Sur ces 62 transformateurs, 32 ont été perforés pendant les orages, 5 ont eu un défaut de fabrication, pour 25 la cause du défaut est restée inconnue. En tenant compte que dans un transformateur plusieurs avaries peuvent se produire simultanément, nous obtenons le tableau suivant :

	Nombre	Pour cent
1. Claquage entre borne et la masse ou bien entre bornes	11	17,8
2. Perforations entre spires de l'enroulement haute tension :		
a) à l'entrée de l'enroulement	32	51,5
b) au milieu de l'enroulement	10	16
c) au point neutre	4	6,4
3. Entre enroulement haute tension et la masse	6	9,7
4. Perforations entre spires basse tension	3	4,9
5. Entre enroulement basse tension et la masse	4	6,4
6. — » haute tension et l'enroulement basse tension	9	14,5
7. Inconnues	2	3,2

Cette statistique englobe 10 transformateurs d'une puissance > 250 kVA.
— — 46 — — < 250 kVA.
— — 6 — de mesure.

Digitized by Google

qu'elles ont été étudiées par M. le Professeur MAUDUIT et M. FALLOU, ne peuvent pas, dans la plupart des cas, expliquer les perforations entre spires d'entrée, les plus fréquentes entre tous les défauts. Nous ne croyons pas non plus que l'explication de ces perforations par l'effet des ondes à front raide soit juste dans tous les cas, nous sommes plutôt d'avis que les deux phénomènes — oscillations et ondes à front raide — qui existent presque toujours simultanément, ont chacun leur part de responsabilité. Il n'est pas juste de séparer les deux faits et d'attribuer à l'un d'eux toutes les avaries constatées.

M. GIRAULT a relevé tout à l'heure les raisons pour lesquelles l'essai à front raide a été introduit en Suisse. D'autre part, je crois que les remarques que MM. KÜBLER et RUMP ont présentées à la semaine des discussions de décembre 1924 (1) résument d'une façon assez claire notre point de vue. Je me dispense donc d'y revenir. Je voudrais ajouter quelques mots au sujet de l'efficacité de l'essai par ondes à front raide. C'est en somme la question fondamentale. On reproche souvent à cet essai d'être inefficace ; on dit qu'il ne contrôle pas l'isolation d'une façon suffisante et que les transformateurs qui ont subi l'épreuve, sont ensuite souvent avariés en service. Ces reproches ne sont cependant pas justifiés, comme il semblerait au premier abord. Il est difficile en ce moment de décrire exactement les phénomènes qui se produisent lors d'un essai par ondes à front raide. On sait seulement que les ondes se propagent le long de l'enroulement, en produisant des contraintes excessives entre spires, ces ondes, étant très raides, sont probablement très amorties. La durée des surtensions entre spires n'est pas connue et ne se laisse pas calculer en partant des considérations théoriques. On peut seulement affirmer que chaque claquage dans le réseau engendre une série d'ondes ou une série d'oscillations le long de la ligne, qui s'amortissent rapidement. Les dernières recherches de M. FALLOU et de M. le Professeur MAUDUIT ont projeté pas mal de lumière et on sait à présent que, suivant les circonstances, les transformateurs effectuent eux aussi des oscillations libres. Nous croyons cependant que des essais complémentaires sont encore nécessaires. Ces essais doivent avoir lieu dans des conditions aussi rapprochées que possible de celles de service. Leur but serait de mettre au clair la réalité du danger de surtensions par résonance, d'une part, et de mesurer la durée des contraintes, d'autre part. Car la perforation d'un isolant so-

(1) *Bulletin de la S. F. des E.*, n° 50, octobre 1925, p. 1071-1074.

Digitized by Google

lide ou liquide exige un certain temps qui est d'ailleurs d'autant plus court que la tension appliquée est plus élevée. Nous n'avons pas de doute que les surtensions entre spires, mesurées à l'éclateur lors d'un essai par ondes à front raide existent et se produisent dans la pratique, car notre essai n'est qu'une imitation des conditions de service. Mais leur durée n'a pu être mesurée et leur influence sur l'isolant ne peut être connue. A la question : qu'est-ce qui est plus dangereux, des oscillations que les transformateurs peuvent effectuer en service, ou bien des ondes à front raide produites au laboratoire pendant 10 secondes, il ne peut-être répondu tant qu'on ne sait pas quelle est en somme la durée totale de la contrainte pendant l'essai, ni celle lors d'une perturbation dans un réseau. Nous savons très bien que la tension à laquelle les claquages se produisent en service est beaucoup plus élevée que celle fixée pour l'essai par onde à front raide. Ici encore, il faudrait savoir si la valeur insuffisante de la tension d'essai n'est pas compensée par le nombre relativement élevé de contraintes ou bien s'il faut augmenter la tension d'essai (1). Nous croyons que l'essai fait dans des conditions appropriées, ou bien des statistiques suffisamment documentées peuvent seuls élucider cette question.

On peut cependant dès à présent dire, en se basant sur le fait que les perforations constatées ont lieu entre spires d'entrée, que les ondes à front raide constituent un véritable danger et qu'il est nécessaire de contrôler les transformateurs en atelier par une méthode appropriée. L'essai par onde à front raide, d'après les règlements suisses ou allemands nous a donné par exemple, pour une série de 100 transformateurs à isolation insuffisante (fabrication antérieure à 1922), trois pour cent de déchet. La statistique des défauts de transformateurs en service, englobant tous les transformateurs à peu près du même type que ci-dessus, livrés entre janvier 1920 et décembre 1922 et non contrôlés à l'atelier avec l'essai par ondes à front raide, nous donne un déchet de 3,7 pour cent. La coïncidence de ces chiffres ne peut pas, croyons-nous, être attribuée à un hasard.

Une remarque encore au sujet des oscillogrammes que M. FALLOU a publiés dans le n° 55 du bulletin. Presque tous montrent à la première demi-onde l'existence de forts harmoniques, qui s'amortissent

(1) Nous avons fait au laboratoire quelques expériences avec des tensions d'ondes plus élevées (jusqu'à 5 fois et plus tension de service). Les perforations entre spires pouvaient toujours être produites en élevant suffisamment la tension de l'onde et ceci malgré l'isolation renforcée de l'enroulement et une tension stationnaire entre spires relativement basse.

Digitized by Google

rapidement (voir par exemple l'oscillogramme n° 6, p. 243). L'aspect de l'onde au début est tout différent de ce qu'elle devient par la suite. La raideur de la première demi-onde est beaucoup plus grande que celle des oscillations propres de l'enroulement. N'est-ce pas l'onde à front raide qu'on voit sur ces oscillogrammes ? Ce sont donc justement ces harmoniques, qui transforment une onde en une onde à front raide de forme rectangulaire. On sait que ces harmoniques s'amortissent rapidement et il se peut bien qu'elles n'existent que sur une ou deux demi-ondes en tout. Ces deux demi-ondes peuvent suffire pour provoquer l'étincelle sur l'éclateur, et les tensions mesurées correspondent alors à la raideur de début des oscillations.

M. FALLOU. — J'ai seulement quelques observations à formuler pour répondre aux arguments de M. KOPELIOVITCH.

D'abord, en ce qui concerne les contraintes entre spires, je ne crois pas qu'il soit exact de dire qu'elles sont plus élevées entre les premières galettes pour les ondes à front raide, qu'entre les spires internes en cas de résonance.

La figure 24 de mon rapport indique quelle est la contrainte, d'une part aux bornes de la première galette, et d'autre part aux bornes d'une galette interne en fonction de la fréquence de l'onde appliquée : aux bornes de la galette interne, cette contrainte atteint 50 pour cent de l'amplitude de l'onde incidente pour une fréquence de l'ordre de 8 000 p : s, tandis que la contrainte aux bornes de la première galette, ne dépasse pas elle-même 50 pour cent de l'amplitude de l'onde à front raide incidente. Dans les grands transformateurs, dont les coefficients de surtension en résonance sont de l'ordre de 10, et dans certains transformateurs à isolement sec où ces coefficients atteignent 15, les contraintes entre spires internes en cas de résonance sont certainement supérieures aux contraintes entre spires d'entrée en cas d'ondes à front raide.

Ma seconde observation sera relative aux oscillations du réseau, capables de produire des surtensions de résonance. Je ne vois pas du tout la raison pour laquelle il faut que ces oscillations soient entretenues pour créer des surtensions internes. L'exemple pratique donné par les oscillogrammes joints à mon rapport de l'année dernière, montre au contraire qu'une oscillation transitoire peut engendrer des phénomènes de résonance, avec surtension.

Enfin, ma troisième remarque sera relative aux harmoniques des

Digitized by Google

oscillations libres des transformateurs, et sera destinée à éviter une confusion. L'oscillation libre demi-onde est bien sinusoïdale au milieu de l'enroulement, de même que l'oscillation 1/4 d'onde est bien sinusoïdale à l'extrémité libre ; mais il est bien entendu que l'onde de décharge commence à front raide près de la borne mise à la terre.

M. Brylinski. — Il me paraît qu'il faudrait d'abord s'entendre pour bien savoir ce dont on parle et qu'il est nécessaire de faire une distinction entre l'oscillation et l'onde à front raide.

M. Bunet. — Quand nous désirons savoir ce qui se passe dans un circuit lors d'une modification de ses conditions, nous avons à notre disposition les méthodes anciennes avec les lois d'Ohm et de Kirchhoff, au moyen desquelles nous posons un certain nombre d'équations d'où nous tirons le courant et la tension en chaque point. On trouve ainsi que les deux régimes permanents, avant et après la modification, sont raccordés par une oscillation libre du système s'amortissant plus ou moins vite.

Au lieu de traiter ainsi la question, nous pouvons dire que nous avons déclanché une onde qui se propage. Ces deux manières de faire reviennent au même, elles ne diffèrent qu'en apparence ; on peut adopter l'une ou l'autre, mais pas les deux à la fois en disant qu'on a la superposition d'une oscillation du circuit et d'une onde qui se propage. Il me semble que de tels procédés sont de nature à créer des confusions.

M. Kopeliovitch. — Les phénomènes des ondes à front raide et les oscillations libres des enroulements peuvent exister simultanément. Considérons une onde à front raide, c'est-à-dire une onde rectangulaire, composée de l'onde de base avec tous les harmoniques supérieurs. Pour fixer les idées, je suppose qu'il s'agisse d'une onde limitée de charge qui se propage sur une ligne. Qu'arrive-t-il quand l'onde arrive aux bornes d'un transformateur ? Elle pénètre dans l'enroulement. Les différents harmoniques de l'onde rectangulaire ne se comportent pas tous de la même façon, puisque la fréquence des uns se trouve au-dessous, celle des autres au-dessus, de la fréquence critique. Il y aura un rapide amortissement de certains harmoniques de sorte que la contrainte entre spires, passant par un maximum à l'entrée, diminuera progressivement le long de l'enroulement. L'oscillation de

Digitized by Google

ce dernier avec la fréquence propre ne peut se produire qu'après la pénétration de l'onde puisque c'est elle qui engendre le phénomène, et y apporte son énergie.

Les oscillations de l'onde sur la ligne entre son extrémité et les bornes du transformateur produisent une répétition périodique du phénomène ci-dessus, et si la fréquence de l'onde migratrice de la ligne coïncide avec la fréquence propre de l'enroulement, il y aura résonance. Les deux circuits ayant des constantes d'amortissement différentes, la ligne pourra entretenir un certain temps, mais de plus en plus faiblement, les oscillations du transformateur.

M. DARRIEUS. — Tout d'abord, nous voudrions faire remarquer que la notion d'onde à front raide, que M. BUNET a opposée aux méthodes classiques d'analyse de Fourier rentre en réalité dans leur domaine, en ce qu'elle peut être représentée, non plus par une série à termes discrets, mais par une intégrale de Fourier (série continue de fréquences infiniment rapprochées) ; et nous regrettons plutôt que ces travaux d'origine française n'aient pas suscité chez nous autant de mémoires scientifiques ou techniques, que par exemple dans les pays anglo-saxons.

Il est peut être possible de donner une interprétation au moins qualitative de ce résultat, annoncé par M. FALLOU, que la vitesse de propagation des oscillations libres d'un transformateur reste constante à partir d'une certaine fréquence, dans un intervalle étendu. Les théories ordinaires, telles que celle qui a été exposée ici même par M. BUNET, et reproduite par M. FALLOU, supposent en effet que l'inductance du bobinage peut être représentée par une self-inductance uniformément répartie et indépendante de la fréquence ; elles méconnaissent ainsi complètement le rôle prépondérant de la mutuelle inductance entre spires voisines, dont l'effet dépend par contre étroitement de la longueur d'onde de l'oscillation dans le bobinage. De ce fait, lorsque la fréquence croît, la self-inductance équivalente par unité de longueur l décroît constamment, et la susceptance ωc_s correspondant à la capacité entre spires par unité de longueur c_s ne peut jamais atteindre $\frac{1}{\omega l}$ de sorte qu'il n'y a plus de fréquence critique annulant la vitesse de propagation.

Dans le cas d'un bobinage concentrique et d'une fréquence assez élevée pour que la hauteur d'une colonne comprenne plusieurs fois la

Digitized by Google

longueur d'onde Λ, les champs résultants électrique et magnétique dans l'intervalle entre l'enroulement à haute tension et la terre, sont de la même forme en $e^{-\frac{2\pi x}{\Lambda}} \cos \frac{2\pi y}{\Lambda}$, en appelant x l'abscisse comptée suivant le rayon, de part et d'autre du cylindre, c'est-à-dire normalement aux génératrices et y l'ordonnée comptée parallèlement aux génératrices. (Si la distance a du bobinage à la masse n'est pas grande en comparaison de $\frac{\Lambda}{2\pi}$, il est possible d'en tenir compte en introduisant dans le champ électrique un terme « réfléchi » de la forme $e^{-\frac{2\pi}{\Lambda}(a-x)} \cos \frac{2\pi y}{\Lambda}$ qui annule le potentiel à la distance a du bobinage). Dans ces conditions idéales, un calcul simple montre que les effets d'inductance peuvent être représentés par une self-inductance équivalente par unité de longueur $n\Lambda$ en appelant n le nombre de spires par unité de longueur le long d'une génératrice du cylindre, et les effets de capacité d'ensemble entre bobines ou spires, par une capacité fictive dérivée ou à la masse par unité de longueur $k : n\Lambda$ où k est le pouvoir inducteur spécifique du milieu. La vitesse de propagation de la phase le long du bobinage $V = 1 : \sqrt{lc}$ n'est donc autre que la vitesse $1 : \sqrt{k}$ des ondes électromagnétiques dans ce milieu.

Ce résultat simple qui, pour la capacité et l'inductance ne tient compte que d'effets d'ensemble prépondérants aux moyennes fréquences, et néglige par exemple la capacité immédiate de fil à fil ou de bobine à bobine sensible seulement lorsque la longeur d'onde est très petite, donne au moins une explication qualitative de la possibilité d'une constance de la vitesse de propagation.

En ce qui concerne le danger de claquage par résonance, il nous paraît peu à redouter, car les conditions en pratique (feeders groupés en parallèle sur un même jeu de barres et non isolés) seront toujours loin de celles où s'est placé M. Fallou, et détermineront ainsi, non seulement par dissipation (résistance du sol dans le cas des lignes aériennes) mais par dispersion de l'onde incidente, un amortissement considérable de celle-ci.

M. Roth. — Après l'introduction des essais par ondes à front raide, a-t-on constaté en Allemagne, une diminution des accidents ?

M. Kopeliovitch. — Il est difficile de répondre à cette question parce

Digitized by Google

que les statistiques s'étendent sur tous les transformateurs en service, alors que beaucoup d'entre eux ont été livrés avant l'introduction de ces essais.

M. Roth. — Il ne semble pas y avoir de différence sensationnelle.

M. Kopeliovitch. — Nous n'avons, pour ainsi dire, plus de claquage entre spires.

M. Roth. — Vous avez augmenté l'écartement de l'éclateur ?

M. Kopeliovitch. — Cette augmentation a été imposée par l'introduction des ondes à front raide.

M. Roth. — Comment en a été fixée la valeur ?

M. Kopeliovitch. — Ici encore, la réponse n'est pas facile parce que nous ne savons pas du tout, pour le moment, quelle est la durée de ces ondes. Introduire une tension trop élevée pendant les essais à l'atelier fatigue à l'excès le matériel qui, en service, claque à la première résonance.

M. Roth. — C'est exactement ce que nous avons trouvé lors de nos essais à la Société Alsacienne. Si vous poussez la tension trop haut, vous détériorez le transformateur : si vous l'arrêtez trop bas, l'essai est insuffisant. C'est la principale objection que soulèvent ces essais.

M. Bunet. — Je me permets de rappeler à nouveau cet argument qui me paraît frappant : les transformateurs pour tensions de 100 000 V et au delà, de construction américaine, n'ont subi aucun essai d'ondes à front raide. Cependant beaucoup d'exploitants expérimentés les préfèrent ; je ne veux d'ailleurs pas prétendre que les bons constructeurs européens construisent moins bien.

M. Dessus. — La proposition américaine touchant les essais à fréquence plus élevée que la fréquence normale fait état de l'hypothèse suivant laquelle fréquence f et le temps d'application t n'auraient d'influence sur la valeur de la tension disruptive que par leur produit. Cette hypothèse se rattache, ainsi que le fait ressortir le commentaire de M. Girault, aux théories « thermiques » du potentiel disruptif, théories d'après lesquelles la disruption se produit lorsque les pertes

Digitized by Google

totalisées atteignent une certaine valeur W_0, l'expression de ces pertes étant

$$W = kv^2 f^\alpha t.$$

Si l'on admet que α est voisin de 1, on retrouve l'hypothèse américaine.

(On suppose également que le temps t est assez petit pour qu'il n'y ait pas dissipation de chaleur à l'extérieur du diélectrique).

Il conviendrait, comme l'a fait remarquer M. GIRAULT, d'étudier expérimentalement la question. Je ne puis apporter que le souvenir d'un fait expérimental, éclairant un autre aspect de la même question. Un câble au caoutchouc claquant à 30 000 V à 25 p : s, a été essayé à des fréquences de l'ordre de 100 000 (ondes entretenues pures) et a résisté à des tensions de l'ordre de 5 000 à 6 000 V ; les temps d'application étant très voisins et de l'ordre de la minute.

Ces chiffres, que je m'excuse de donner si peu précis, montrent néanmoins que la loi $V^2 f = C^{te}$ est très loin d'être exacte, ce qui permet de suspecter légitimement la loi $ft = C^{te}$, qui paraît basée sur les mêmes hypothèses.

Il serait donc peut-être prudent de n'admettre la règle américaine qu'avec quelques réserves.

Je signale en passant que la question générale en discussion ne pourra être considérée comme complètement éclaircie, que lorsque la relation entre le potentiel disruptif et la fréquence aura été bien établie, dans de très larges limites de fréquence : la variété des chiffres mis en avant pour les potentiels disruptifs des divers isolants utilisés dans la construction radioélectrique, montre qu'un travail important reste à faire.

M. ROTH. — Je ne vois pas pourquoi il faudrait faire des expériences à ce sujet. Si la règle américaine ne va pas plus loin que 400 p : s il n'y a pas d'objections, mais si les fréquences sont très élevées, on ne les applique que pendant un temps très court.

M. GIRAULT. — On pourrait peut-être spécifier une tension maxima. Il ne faudrait pas appliquer cette règle en dehors des limites pour lesquelles elle a été établie.

M. ROTH. — Nous sommes tout à fait d'accord.

Digitized by Google

M. GENKIN présente son rapport intitulé « *Procédés statiques d'équilibrage d'une charge monophasée dans un réseau triphasé* (1).

M. ILIOVICI. — *Première remarque.* — M. GENKIN emploie dans la représentation des vecteurs triphasés des conventions différentes de celles employées habituellement en France et dans les règles de normalisation de l'Union des Syndicats. Or, la signification des formules employées dépend des conventions de signe ; il me semble donc, qu'il serait utile que tout le monde emploie les mêmes conventions... ou du moins qu'on indique les conventions adoptées.

Deuxième remarque. — M. GENKIN, à la suite de M. DARRIEUS, paraît admettre que l'unique condition d'équilibre d'un système triphasé est que la puissance fluctuante soit nulle.

Je trouve qu'on restreint ainsi trop la notion d'équilibre des systèmes de courants et de tensions.

Pour qu'un réseau soit en équilibre, il faut que les tensions et les courants le soient, c'est-à-dire que chacun de ces deux systèmes puisse être représenté par un système de 3 vecteurs égaux et déphasés l'un par rapport à l'autre de 120°.

Or, pour cela, quatre conditions vectorielles doivent être satisfaites, dans le cas plus général : il faut que la composante inverse et la composante asymétrique des courants soient nulles, ainsi que celles des tensions.

Il est quelquefois plus commode de remplacer certaines de ces conditions par d'autres. Une de ces conditions peut être que la puissance fluctuante soit nulle ; mais celle-ci ne peut remplacer que l'une des 4 conditions nécessaires et ne peut pas à elle seule assurer l'équilibre du système.

Il est possible que, pour certaines applications, ou à certains points de vue, certaines des conditions soient plus importantes que d'autres. Certains systèmes non équilibrés peuvent être, par des moyens simples, transformés en systèmes équilibrés, mais cela n'empêche pas les premières de ne pas l'être. Ainsi dans un réseau triphasé on peut avoir des tensions simples non équilibrées, le déséquilibrage provenant seulement de l'existence du terme asymétrique : les tensions composées — dans lesquelles le terme asymétrique est forcément nul — forme-

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 60, août 1926, p. 841.

Digitized by Google

ront un système équilibré et l'usine distributrice ne sera pas gênée par la dissymétrie du système étoilé.

Dans les cas étudiés par M. GENKIN, le système ne doit satisfaire qu'à deux conditions, parce qu'on suppose *à priori* que les tensions sont équilibrées. Annuler la puissance fluctuante équivaut dans ce cas à annuler la composante inverse des courants. Comme sur un réseau, les courants dans les conducteurs intéressent seuls et que la résultante de ces courants est toujours nulle dans les distributions à trois fils, cette condition devient suffisante, dans ce cas particulier.

M. DARRIEUS et M. GENKIN considèrent la condition « puissance fluctuante nulle » comme étant une condition essentielle : si elle est satisfaite, le système peut être équilibré par des moyens simples, si non l'équilibrage n'est possible qu'en s'arrangeant pour annuler cette puissance. Nous reviendrons sur ces questions à une autre occasion, mais nous voulons montrer, par un exemple simple, qu'on peut avoir un système très déséquilibré et dont la puissance fluctuante soit nulle : c'est le cas d'un système monophasé à trois fils, dont les deux tensions ont la même valeur efficace et qui alimentent : l'une une bobine de réactance sans résistance ayant un coefficient de self inductance L, l'autre un condensateur de capacité C telle qu'on ait : $L\omega = \frac{1}{C\omega}$.

Dans ce cas la puissance active, la puissance réactive et aussi la puissance fluctuante sont nulles, et pourtant le système, considéré comme triphasé, a un degré de déséquilibrage égal à 1, c'est-à-dire le plus grand déséquilibrage possible.

M. GENKIN a d'ailleurs montré dans l'un de ses articles de la R.G.E., qu'il existe une infinité de systèmes triphasés non équilibrés, dont la puissance fluctuante est nulle.

La condition « puissance fluctuante nulle » n'est donc pas une condition suffisante pour l'équilibre d'un réseau.

M. DARRIEUS. — La divergence de signe que M. ILIOVICI vient de mentionner, ne fait pas de doute si les phases se succèdent bien dans l'ordre 1, 2, 3 pour les tensions. Peut-être l'origine en est-elle à chercher dans le choix auquel s'est arrêté M. GENKIN pour la puissance complexe $P + jQ$ d'une convention de signe qui conduit à la représenter par un vecteur différent de celui relatif au courant correspondant, dans le cas usuel où la tension (donnée naturelle dans les réseaux à potentiel constant, et plus souvent équilibrée) est prise comme vecteur de référence. Pour rétablir la concordance de sens et l'identité, à

Digitized by Google

l'échelle près, des diagrammes de courant et de puissance complexe, il suffirait de représenter cette dernière par $P - jQ$.

La question a déjà été agitée au sein de l'American Institute of Electrical Engineers et sera posée sans doute quelque jour devant la Commission Electrotechnique Internationale, qui a déjà fait choix d'une convention de sens pour les diagrammes vectoriels, de sorte que nous présumons que c'est la deuxième solution $(P - jQ)$ qui prévaudra.

M. GENKIN. — Lorsque les tensions sont équilibrées, la définition d'équilibre donnée par M. DARRIEUS et exigeant que la puissance fluctuante soit nulle, se confond avec l'équilibre des courants. C'est là le cas le plus fréquent et en particulier celui traité dans mon étude.

J'ai cru préférable de raisonner sur les puissances plutôt que sur les courants pour pouvoir interpréter plus aisément les résultats dans tous les cas qui se présentent et notamment dans le cas où l'installation comporte des inductances mutuelles.

Quant à la définition de l'équilibre il me semble que cette question soit en dehors du sujet qui nous occupe. Elle a été discutée l'année dernière et on aura, sans doute, l'occasion d'y revenir encore.

L'exemple cité par M. ILIOVICI ne me semble pas être très convaincant : il se rapporte, en effet, au cas d'un système déséquilibré non seulement en courant, mais aussi en tension si on le considère comme un cas particulier d'un système triphasé.

M. ROTH. — Nous avons retenu la notion de la puissance fluctuante parce que c'est l'unique quantité qui subsiste quand on ne peut pas s'astreindre à considérer tous les aspects du déséquilibrage : or il nous faut une des conditions de rapport des tensions, deux de rapport des intensités, deux d'angle pour les tensions et deux d'angle pour les intensités ; c'est beaucoup trop compliqué, d'autant que tous ces aspects de déséquilibrage sont des aspects superficiels comme l'a montré M. GENKIN ; un des seuls cas où subsiste une puissance fluctuante est un cas de déséquilibrage profond.

M. GIRARD présente le modèle d'un dispositif de protection pour transformateur, réalisé par les Etablissements Haefely et dont M. ROTH a donné la description à la séance de la Première Section, le 8 octobre 1926 (1).

---

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 63, novembre 1926, p. 1285.

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

RENOUVELLEMENT PARTIEL DU BUREAU ET DU COMITÉ PAR L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 8 JANVIER 1927

Le dépouillement du scrutin a donné les résultats suivants :

Suffrages exprimés	486
Bulletins nuls	5
Nombre de votants	491
Majorité	246

Sont élus :

PRÉSIDENT POUR L'EXERCICE 1928 :

MM.

IMBS (Edouard), Directeur général de la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité 484

VICE-PRÉSIDENT :

1re *Section* (*Production*).

GIRAULT (Paul), Ingénieur à la Compagnie française Thomson-Houston. 486

SECRÉTAIRES :

1re *Section* (*Production*).

FALLOU (Jean), Ingénieur chargé du Service technique électrique à l'Union d'Electricité 485

4e *Section* (*Canalisations, traction*).

ALLIAUME (René), Inspecteur principal à la Société des Transports en commun de la Région Parisienne (Service électrique) 486

Digitized by Google

MEMBRES :

Pour trois ans.

ALBENTON CARAFA (Charles d'), Directeur général de la Compagnie du Gaz de Lyon, Trésorier du Groupe Sud-Est de la Société Française des Electriciens 484

BELFILS (Georges-Frédéric), Ingénieur à la Société Alsacienne de Constructions mécaniques 486

BELIN (Edouard), Administrateur délégué des Etablissements Edouard Belin. 485

BLONDIN (J.), Agrégé de l'Université, Directeur de la Revue générale de l'Electricité 485

CAHEN (Louis), Directeur de la Société d'Etudes pour Liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance 484

CALLOU (L.-C.), Ingénieur général de la Marine, Administrateur délégué de la Maison Bréguet 486

CARDON (Maurice), Ingénieur de la Marine, en congé, hors cadre, Ingénieur au Chemin de fer d'Orléans, Secrétaire sortant de la Section de canalisations et traction 486

CAUDRELIER (Esprit), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Attaché à la Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité, Commissaire aux comptes sortant 486

GENKIN (V.), Directeur des Etudes et Projets à la Société l'Electricité de Marseille 485

GRATZMULLER (Louis), Ingénieur Conseil, Président intérimaire de la Section de canalisations et traction 484

IGLESIS (Sébastien-Sauveur), Ingénieur Conseil, Président de la Société Amicale des Ingénieurs de l'E. S. E. 485

ILIOVICI (Avram-David), Licencié ès sciences, Ingénieur E. S. E., Ingénieur Conseil à la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz 484

LAVANCHY (Charles), Ingénieur à la Société générale d'Entreprises 486

LORIN (Charles-Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur Conseil, Ancien Maître de Conférences à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures 485

POMEY (Jean-Baptiste), Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'Ecole Supérieure des P. T. T. 486

ROTH (Edouard), Ingénieur en Chef à la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques, Président sortant de la Section de Production et Utilisation mécanique de l'Electricité 486

Pour un an.

LEMENAND (Raoul), Chef de Service au Laboratoire Central d'Electricité, Secrétaire sortant de la Section de Production et Utilisation mécanique de l'Electricité 484

Digitized by Google

COMMISSION DES COMPTES :

BACHELLERY (André), Ingénieur en Chef du matériel et de la traction aux Chemins de fer du Midi 486

CAHEN (Henri), Président du Syndicat professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique 484

VALBREUZE (Robert de), Administrateur délégué de la Société pour le perfectionnement de l'éclairage 485

Réunion du Conseil d'Administration de la Société, pour favoriser le développement du Haut Enseignement de l'Electrotechnique en France.

Dans sa réunion du 16 décembre 1926, le Comité d'Administration a décidé de faire l'appel du quatrième quart du capital souscrit, afin de poursuivre les travaux de reconstruction à Malakoff de l'Ecole Supérieure d'Electricité.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS[1]

SOMMAIRE

1re Section. — 1° Liaison entre réseaux à fréquences différentes, M. Rieunier, p. 95. — 2° Fantômes magnétiques relevés sur les alternateurs, M. E. Roth, p. 100.

2e Section. — 1° Emploi des petits projecteurs dans la prise de vue photographique et cinématographique, M. Manuel, p. 100. — 2° Modifications à apporter au projet de règlement d'éclairage des usines étudié par le Comité d'éclairage, p. 103.

3e Section. — Systèmes de réglage des fours électriques à résistances et à électrodes, M. Mathieu, p. 104.

4e Section. — Essais de câbles à haute tension. Réponse au questionnaire du Comité électrotechnique national néerlandais, p. 108.

5e Section. — 1° Nouveau pavillon renforçateur et diffuseur de son, M. Magunna, p. 111. — 2° La pile thermoélectrique Miéville, M. Magunna, p 111. — 3° Transformateurs à couches cloisonnées, M. Magunna, p 114. — 4° Appareils J. Carpentier, pour les mesures téléphonométriques, M. Vassilière-Arlhac, p. 114. Observations de M. G. Cahen, p. 116.

1re SECTION. — PRODUCTION

Présidence de M. E. Roth.

Séance du 3 décembre 1926. — M. Rieunier expose comme suit la question de la *liaison entre réseaux à fréquences différentes* (2).

Si, à différentes époques, des réseaux ont été amenés à se créer et à se développer sous des fréquences différentes, pour des raisons techniques ou d'autres, l'extension inévitable de ces réseaux, qui d'abord s'ignoraient le plus souvent, les a rapprochés l'un de l'autre et un jour est venu où ils ont dû se lier entre eux, que ce fût pour des secours éventuels, des échanges périodiques ou une jonction permanente.

I. — *Liaison par groupes rotatifs.*

Cette liaison s'est faite jusqu'ici au moyen de convertisseurs de fréquence rotatifs, composé de deux machines génératrices accouplées mécaniquement.

---

(1) Tout membre de la Société française des Electriciens peut, en adressant une demande au Délégué général, 14, rue de Staël, être convoqué aux séances des sections.

(2) Cette question a été mise à l'ordre du jour de la 1re Section en vue de la présentation à la Conférence des grands réseaux de juin 1927, d'un rapport dont M. Rieunier a bien voulu se charger.

Digitized by Google

Dans le cas des grands réseaux à tension élevée, cette liaison comporte de chaque côté un transformateur tour à tour abaisseur, ou élévateur, un alternateur remplissant tour à tour le rôle de moteur ou celui de génératrice, les tableaux et connexions indispensables, les dispositifs de démarrage, de synchronisation, d'excitation, etc., ainsi que les services auxiliaires de circulation d'eau ou d'huile pour les transformateurs, et aussi ceux nécessaires au graissage mécanique des organes en mouvement.

Tout cet ensemble est caractérisé par un prix de revient d'installation élevé rapporté au kW installé et par un fonctionnement grevé de pertes importantes.

Ce qu'il faut considérer, en effet, c'est beaucoup moins la perte proportionnelle instantanée que l'intégrale de la puissance perdue annuellement.

A ajouter, le prix des bâtiments abritant les machines tournantes et l'ensemble ou une partie des transformateurs et des tableaux.

La liaison de deux réseaux par de tels organes est donc coûteuse de premier établissement et d'exploitation. Elle nécessite une annuité d'amortissement et de renouvellement importante, elle majore notablement le prix du kWh échangé, elle a l'inconvénient de se faire par l'intermédiaire de machines rotatives de construction délicate (1) et de fonctionnement forcément moins sûr que celui d'un simple transformateur.

Enfin elle a le grave inconvénient de consolider l'avenir en maintenant chacun des deux réseaux dans son séparatisme et elle exigera de nouvelles installations également coûteuses, au fur et à mesure que chacun des deux réseaux se développera.

Le seul avantage que présentent ces machines tournantes, c'est de pouvoir jouer le rôle de condensateur et de permettre, par variation de

---

(1) A noter les difficultés et le prix de construction des alternateurs de plusieurs milliers de kW qui composent les groupes de liaison.

A titre d'indication, un groupe de $2 \times 5\,000$ kVA — 5 500 V, 25 p : s — 5 500 V, 50 p : s à 750 t/mn avec 2 alternateurs de 5 000 kVA l'un, 2 excitatrices, 1 moteur de démarrage, pèse 95 tonnes.

En outre, on lit dans *l'Electricien* n° 1405 du 1er octobre 1926 :

« La Brooklyn Edison Company vient d'installer un changeur de fréquence « de 35 000 kVA qui servira à transformer la fréquence de 25 à 60 p : s. Installé « à New-York, c'est le plus grand changeur de fréquence du monde. Ses dimen« sions sont les suivantes : longueur 14 mètres, hauteur 7 mètres, largeur 6m,50. « L'arbre rotatif a 35 cm de diamètre. Le poids total de la machine est de 460 T « et le poids des pièces tournantes est de 280 T. Les paliers, au nombre de quatre, « sont refroidis par une circulation d'eau. »

Digitized by Google

leur excitation, un réglage assez étendu de la tension de distribution. On pourrait même être amené à penser que des machines rotatives étant justement nécessaires pour cet usage, l'emploi du convertisseur de fréquence n'entraîne aucune perte supplémentaire et demeure judicieux.

C'est une question d'espèce, mais un tel raisonnement sera bien rarement exact. D'abord, il n'est pas évident *à priori* que l'emplacement du convertisseur de fréquence, qui est imposé par des considérations géographiques, sera l'emplacement le plus favorable pour le moteur synchrone surexcité, dans la détermination duquel des considérations électriques seront prépondérantes. Ensuite, la construction d'un moteur devant servir seulement de condensateur est plus facile que celle du convertisseur de fréquence, dont les différents organes mécaniques et les enroulements devront résister à des efforts importants et être exécutés en conséquence.

Pour toutes ces raisons, la liaison entre réseaux est une opération coûteuse de premier établissement aussi bien que d'exploitation, et elle a le tort de consolider en la perpétuant une situation qui n'a plus aujourd'hui de raison d'être, c'est l'existence simultanée et voisine de réseaux fonctionnant à des fréquences différentes.

II. — *Liaison par unification de la fréquence.*

Sans vouloir refaire l'historique de la question et remonter à l'origine de ces fréquences différentes — 25, ou 40-42, ou 50 en France — je me borne à constater qu'aujourd'hui aucune raison n'existe plus de maintenir cette variété, tous les appareils d'utilisation industrielle pouvant être établis pour la fréquence unifiée de 50 p : s.

L'unification de la fréquence résoudrait donc le problème de la liaison, en réduisant cette liaison, suivant les cas, à l'utilisation d'un nombre suffisant de transformateurs, ou même, comme cas limite, et dans le cas d'égalité des tensions, au montage d'un certain nombre d'interrupteurs.

L'unification de la fréquence a l'avantage de supprimer tout le matériel précédemment énuméré, sauf les transformateurs qui peuvent demeurer nécessaires.

Elle assure donc la liaison avec le minimum d'appareils, et avec le genre d'appareils ayant le rendement le plus élevé. En outre, elle supprime la diversité des fréquences et permet d'effectuer les échanges d'énergie en quantités quelconques et en des points quelconques.

Digitized by Google

Enfin, elle apporte dans l'établissement du matériel ses avantages bien connus et dont l'examen sortirait du cadre du présent travail.

Cette liaison des réseaux par unification de la fréquence a été réalisée dans la région parisienne et elle se poursuit de manière à être entièrement terminée en 1930.

Un résumé très succinct de son exécution intéresse les grands réseaux à très haute tension, car deux grands réseaux à fréquences différentes ne pourront être unifiés qu'autant que le seront eux-mêmes les réseaux de distribution à moyenne tension qu'ils sont chargés d'alimenter.

L'opération de l'unification de la fréquence est facile d'exécution, son seul inconvénient est d'entraîner des dépenses assez élevées et d'exiger un grand soin et une persévérance acharnée.

III. — *Unification de la fréquence dans la région parisienne.*

La région parisienne était alimentée, en 1921, par un certain nombre de réseaux, les uns à courant triphasé 25 p : s, les autres à courant diphasé 41 2/3 ou 42 p : s, d'autres enfin à 50 p : s, distribuaient du courant triphasé ; dans quelques communes l'un d'eux distribuait du courant diphasé. Chacun de ces réseaux employait une tension différente.

La condition nécessaire et suffisante de l'interconnexion de ces différents réseaux était l'unification de la fréquence.

L'usine de Gennevilliers et son satellite, l'usine de Vitry, devant émettre du courant triphasé à 60 000 V, un transformateur était toujours nécessaire pour relier le réseau de transport à l'ancien réseau de distribution : il importait dès lors assez peu que ce transformateur changeât ou non le nombre des phases, qu'il fût triphasé-triphasé, ou triphasé-diphasé.

La mise des réseaux à la fréquence 50, s'est faite en conservant tous les transformateurs du réseau :

Ces transformateurs peuvent en effet, dans l'intervalle de 25 à 50 p : s, être alimentés à une fréquence quelconque, pourvu que cette fréquence soit supérieure à celle pour laquelle ils ont été construits. Leur fonctionnement demeure pratiquement tout aussi satisfaisant. Sur les réseaux exploités jusque-là à 25 p : s et passant à 50, il a fallu procéder au remplacement des moteurs. Ce problème est d'ordre purement électrique : le doublement de la fréquence permettant de maintenir aux organes d'utilisation la même vitesse, on peut dire en gros

Digitized by Google

que la question est restée sur le terrain électrique et que les problèmes d'ordre mécanique n'ont pas eu à se poser.

Sur les réseaux à 41,66 p : s les moteurs ont été conservés et ont pu presque sans exception assurer le même service.

Mais, comme leur vitesse a augmenté de 20 pour cent, il a fallu conserver aux machines d'utilisation leur ancienne vitesse. Le problème a dès lors été exclusivement mécanique : facile à résoudre dans le cas général de la commande par courroie, plus difficile quand la commande était directe et que la machine commandée absorbait des puissances variant en fonction d'une puissance de la vitesse (cube pour les pompes centrifuges, les ventilateurs, etc...).

Mais si le principe de l'unification de la fréquence, ainsi présenté, paraît simple et même séduisant, il ne faut pas se dissimuler que son application exige un travail minutieux et entraîne des dépenses importantes.

L'exposé du mode opératoire et des détails d'exécution ne trouve pas sa place ici. Résumons seulement les résultats..

La dépense de main-d'œuvre est un peu plus élevée pour le passage 25/50 que pour le passage 41,66/50.

La dépense des moteurs dans le passage 25/50 est très supérieure à la dépense du matériel mécanique dans le passage 41,66/50.

Bien entendu, pour que la comparaison fût complète, il faudrait que les industries des deux régions comparées fussent le plus semblable possible.

On ne peut guère comparer l'industrie de la région Nord-Ouest de petite banlieue — Courbevoie, Asnières, Argenteuil, Clichy — avec l'industrie métallurgique et chimique de Saint-Ouen, Saint-Denis, Aubervilliers, La Courneuve, Pantin.

Quant à l'industrie parisienne même, elle a une physionomie spéciale.

Tout ceci fait qu'une comparaison serrée de près serait illusoire et que publier des nombres exposerait à donner des idées fausses.

Ce que l'on peut dire pour conclure, c'est que l'unification de la fréquence, étant surtout une dépense de main-d'œuvre, ne laisse derrière soi rien de matériel qui représente les dépenses faites ou du moins qui les représente dans une proportion appréciable.

Ces dépenses ont seulement comme contre-partie la libération de l'avenir et l'ouverture d'un vaste champ au développement simultané des deux réseaux intéressés.

Digitized by Google

Cette libération, pour être difficilement évaluable, n'en demeure pas moins un avantage énorme et qui doit être préféré à la liaison par groupes rotatifs, laquelle n'a pour résultat que d'accumuler un matériel important, coûteux d'achat et d'exploitation, relativement fragile et dont l'extension sera toujours onéreuse tant par elle-même que par la consolidation d'une situation technique compliquée et souvent démodée.

La fréquence ne doit plus différer d'un réseau à l'autre ; il était facile de prévoir et l'expérience a confirmé, que la décision de faire l'opération plus tôt vaut mieux que le souci de l'étudier trop en détail plus tard.

2° M. Roth présente une série de photographies de *fantômes magnétiques relevés dans l'entrefer et entre les pôles d'un alternateur à pôles saillants.*

Ces fantômes mettent très clairement en évidence la distribution des lignes de forces du champ résultant, et en particulier des lignes de fuites entre inducteurs dans différentes conditions de fonctionnement de la machine, notamment à vide, en court-circuit, et en charge pour $\cos\varphi = 1$, $\cos\varphi = 0$ (décalage AV) $\cos\varphi = 0$ (décalage AR).

M. Roth donne quelques détails sur la façon dont ont été relevés ces fantômes et insiste sur la coïncidence plusieurs fois observée entre le tracé des lignes de forces prédéterminé par la méthode de Lehmann et le relevé obtenu par le fantôme.

2e SECTION. — ECLAIRAGE ET CHAUFFAGE

Présidence de M. Maurice Leblanc.

Séance du 7 décembre 1926. — 1° *Emploi de petits projecteurs dans la prise de vue photographique et cinématographique* par M. Manuel.

M. Manuel expose les procédés d'éclairage artificiel employés actuellement pour la photographie d'art soit, en général, pour le portrait.

Il rappelle que, pour donner un bon résultat et indépendamment des qualités particulières du sujet, la lumière doit suppléer au besoin à l'absence de qualités photogéniques et que, pour faire apparaître à volonté sur le sujet les ombres et les lumières le mettant en valeur, elle doit être réglable à la volonté de l'opérateur.

En outre, elle doit être intense et très actinique. Les chances de suc-

Digitized by Google

cès sont, en effet, accrues en instantané. Une pose, même réduite à une ou deux secondes, suffit souvent pour qu'une personne nerveuse prenne une expression figée qui nuit à la ressemblance.

Le mode d'éclairage le plus ancien, le plus simple et le plus économique est évidemment celui fourni par la lumière du jour ; la clarté entrant largement par de vastes baies, orientées de préférence au Nord, permet, par les jours lumineux, d'obtenir des poses très courtes ; un jeu de rideaux et d'écrans donne les effets de lumière et d'ombre nécessaires. Malheureusement, l'intensité lumineuse varie beaucoup suivant la saison, l'heure et l'état du ciel, et celui-ci change parfois brusquement. Un observateur exercé arrive à évaluer le temps convenable d'ouverture de l'obturateur d'après la luminosité du verre dépoli ; cependant, une lumière d'intensité constante serait bien préférable et les modifications brusques de l'état du ciel, survenant entre la mise au point et le déclic de l'obturateur, peuvent occasionner des excès ou des insuffisances de pose. En outre, les jours d'hiver, la pose peut devenir trop longue.

On a donc cherché à réaliser un éclairage artificiel plus pratique que l'éclairage naturel et susceptible même d'y être complètement substitué.

Le magnésium fournit, avec un matériel et des moyens d'action relativement réduits, une source lumineuse intense et de propriétés photogéniques voisines de celles de la lumière solaire.

Un ruban de magnésium pesant environ 1 g, produit, en brûlant pendant 1 mn 2/3, sur un sujet placé à 1 m, un éclairement égal au 15e de celui donné par le soleil de midi le 21 juin. Si le gramme de magnésium est en poudre, l'éclairement est considérablement multiplié et permet d'obtenir pratiquement l'instantanéité. Les jeux de lumière sont réalisés au moyen d'écrans réflecteurs ou en enflammant simultanément plusieurs charges par l'étincelle électrique.

Par contre, la combustion du magnésium dégage une fumée abondante qui impose l'installation de tuyaux d'aération et de ventilateurs. En outre, il n'est pas possible de se rendre compte d'avance avec certitude, des effets d'ombre et de lumière obtenus sur le sujet et l'attente de l'explosion détermine souvent une crispation de la physionomie.

La lumière électrique a permis des progrès considérables en photographie d'art.

Les lampes à arc à charbons minéralisés, donnent une lumière très actinique.

Digitized by Google

Le sujet, éclairé par réflexion sur un écran approprié, est placé dans une ambiance agréable, mais l'arc entraîne un réglage, assujettissant s'il se fait à la main, coûteux s'il est automatique.

Les lampes demi-watt, moins actiniques, ont une grande intensité lumineuse et sont d'un emploi plus facile. Convenablement groupées derrière des écrans diffuseurs, elles permettent d'éclairer le sujet avec toute la douceur nécessaire.

Des résultats encore meilleurs ont été obtenus par l'emploi de la lampe à vapeur de mercure depuis qu'elle a été rendue vraiment pratique. Elle est, en effet, très riche en rayons ultra-violets que l'on est même obligé d'atténuer par l'emploi de verres de composition spéciale et, à puissance électrique égale, ses qualités actiniques sont de 8 à 10 fois supérieures à celles des lampes demi-watts. Dans un studio éclairé avec une puissance de 7 à 8 000 W, il devient possible de faire des instantanés au 1/50e de seconde permettant les vues cinématographiques. L'air est comme imprégné d'une lumière très douce. Il est bon, toutefois, de corriger la teinte blafarde que la lampe au mercure donne à la peau, par les radiations jaunes de quelques lampes demi-watts ; l'opérateur peut ainsi mieux apprécier les jeux de lumière.

Un simple clavier de boutons interrupteurs suffit pour la commande des lampes. Un progrès très appréciable a, en effet, été réalisé dans la lampe au mercure quand l'ionisation du tube a pu être obtenue par des décharges électrostatiques entretenues électriquement jusqu'à l'amorçage. Les jeux d'ombre et de clarté sont obtenus ainsi avec autant d'aisance que s'il s'agissait de lampes 1/2 watt.

Les qualités de la lumière obtenue atténuent, dans une grande mesure, les imperfections du sujet et le travail de retouche est ainsi réduit au minimum sinon complètement supprimé.

Pour réaliser de grands effets artistiques, jour frisant sur un profil pur, coup de soleil dans les cheveux, on emploiera un phare puissant dont les systèmes optiques permettent de concentrer sur un sujet placé à 1 m et avec une simple ampoule demi-watt de 500 B, une intensité de 10 000 à 20 000 B.

M. Abgrall fait observer que l'installation nécessitée par les tubes à vapeur de mercure est très embarrassante dans les petits studios.

M. Maisonneuve signale qu'il existe des lampes à incandescence en milieu gazeux ayant un verre de composition spéciale qui laisse passer les radiations utiles à la photographie et absorbe en partie les

Digitized by Google

autres, de façon à diminuer, pour un même pouvoir actinique, l'intensité lumineuse des lampes qui pourrait devenir gênante.

M. le Président fait également observer que la lumière produite par la vapeur de mercure demande une certaine correction, car l'absence de certaines radiations entraîne des retouches.

M. MATIGOT rapporte que, d'après ses essais, des lampes en atmosphère gazeuse poussées au régime de 0,4 W par bougie, peuvent rivaliser avec l'arc au point de vue actinique. Il fait remarquer, en outre, que la consommation spécifique des lampes poussées de 32 pour cent diminue de 70 pour cent. Une lampe de 750 W poussée à 900 W, donne une qualité de lumière meilleure qu'un arc de 1 000 W.

2° *Modifications à apporter au projet de règlement d'éclairage des usines par le Comité d'éclairage.*

M. le Président donne lecture de la lettre de M. MARKS, répondant aux questions qui lui ont été posées relativement aux changements que la 2e Section désirait voir introduire dans le tableau des éclairements. M. MARKS signale que ces changements devront faire l'objet d'une discussion à la prochaine Commission Internationale.

M. MATIGOT donne lecture du tableau détaillé des éclairements recommandés pour différentes catégories de travaux, en groupant tous les travaux correspondant aux éclairements de même valeur.

Il propose de créer cinq catégories : 10,20,40,60 et 80 lux, la dernière se rapportant aux travaux très fins, dits « supervisuels ».

M. MAISONNEUVE insiste sur l'intérêt qu'il y aurait à conserver le tableau des éclairements, tel que l'a présenté M. MARKS, car il estime que ce tableau jouirait d'une plus grande autorité s'il était accepté sans modification par tous les pays. M. WETZEL relit à ce propos le vœu émis par la Commission Internationale de l'éclairage tenue à Genève en 1924, tendant à ce que le rapport présenté par M. MARKS soit adopté comme base des règlements et recommandations relatifs à l'éclairage des usines et des écoles.

Il est décidé, en outre, que les chiffres de 1,25 et 5 lux indiqués dans le précédent projet comme minimum de sécurité et minimum hygiénique seront supprimés.

Digitized by Google

3e SECTION

Président : M. CHAUMAT.

SÉANCE DU 11 DÉCEMBRE 1926. — M. MATHIEU présente la communication suivante sur *les systèmes de réglage des fours électriques à résistance et à électrodes.*

I. — *Réglage des fours à résistance.*

1° Par rupture du courant total.

a) Par dilatation de fluides.

Thermomètre à air. — Le circuit de chauffage comporte un index de mercure mobile dans un tube en U. L'une des tubulures du tube communique avec un réservoir d'air placé dans le four ; l'autre communique avec un réservoir d'air comprimé qui peut être maintenu à une température constante si la précision l'exige. Les variations de température du four produisent des variations de volume de l'air et l'index de mercure, en se déplaçant, coupe ou rétablit le courant (Précision possible à 1 000°C : ± 1°C).

Thermomètre à toluène. — La variation de volume du toluène actionne un relais de coupure. Le toluène est chauffé par une dérivation du courant alimentant le four.

b) Par dilatation de solides.

Pyromètres métalliques. — Ils utilisent la différence de dilatation entre deux métaux, ou entre un métal et une tige en porcelaine ou en silice.

Le thermo-relais Arca pour les températures jusqu'à 900°C, utilise un tube en acier calorisé et une tige de silice fondue. Les déplacements sont amplifiés et lorsque la température dépasse sa valeur normale, un levier se soulève et ouvre un ajutage par lequel l'eau s'écoule. Cet écoulement produit une perte de charge qui est utilisée dans un appareil à membrane, pour obtenir un déplacement appréciable de cette membrane qui manœuvre l'interrupteur. La sensibilité est d'autant plus grande que la longueur du tube et de la tige de silice est plus grande.

Digitized by Google

c) Par relais wattmétrique.

Le contrôle de la puissance absorbée par le four se fait par l'équipage wattmétrique qui, par l'intermédiaire d'un relais, produit la rupture du courant dès que la puissance dépasse la limite fixée (Précision à 1 200°C : ± 1°C).

2° Par réglages successifs.

a) Par variation de l'intensité.

α) *régulateur Thury.* — Le régulateur contrôle la valeur du courant et son fonctionnement, et règle la résistance d'un rhéostat placé en série sur le circuit du four.

Contrôle de la résistance du conducteur. — Le conducteur chauffant est placé dans la branche d'un pont de Wheatstone. Le pont est équilibré lorsque le courant dans le four est normal. Si le courant du four vient à varier, le galvanomètre actionne un relais qui fait fonctionner le curseur du rhéostat placé en série avec le four.

β) *lampes à filament de fer dans l'hydrogène.* — Ces lampes, groupées et placées en série avec le four, limitent automatiquement le courant, la différence de potentiel aux bornes de ces lampes passant brusquement de 7 V à 21 V si l'intensité varie de 2 à 2,2 A.

b) Par variation de la tension d'alimentation.

α) en modifiant la vitesse du moteur du groupe générateur.
β) en modifiant l'excitation de la génératrice.
γ) on peut employer le régulateur d'induction ou la simple bobine d'inductance avec ou sans commande automatique.

II. — *Réglage des fours à électrodes.*

1° Moteur électrique manœuvrant l'électrode.

a) Réversible.

α) *Régulateur Thury.* — Le régulateur, influencé par le courant de l'électrode transformé par un transformateur d'intensité, commande directement l'inverseur du moteur d'électrode. Les contacts sont en charbon.

Digitized by Google

β) *Contacteurs Siemens.* — Un mécanisme tournant constamment, une seule électrode se déplace en un même instant et produit une certaine harmonie entre les mouvements relatifs de toutes les électrodes.

b) A deux enroulements d'excitation.

Balance wattmétrique Scovill. — Le moteur est alimenté par un contacteur actionné par une balance électrodynamique à 6 bobines (2 mobiles et 4 fixes) qui contrôle la puissance absorbée par chaque électrode.

c) Génératrice à deux enroulements d'excitation.

α) *Régulateurs Tirrill.* — L'un des deux enroulements d'excitation de la génératrice du moteur d'électrodes est alimenté par une excitatrice spéciale ; l'autre agit en sens contraire et varie suivant que le régulateur Tirrill met ou non en court-circuit une résistance placée en série. Le Tirrill est soumis aux variations d'intensité de l'électrode, par l'intermédiaire d'un transformateur d'intensité. Un moteur triphasé commande les génératrices et l'excitatrice.

β) *Redresseur G. E. C°.* — Constitué par les mêmes machines tournantes que le système précédent, le système G. E. C° emploie un kénotron pour l'alimentation de l'enroulement d'excitation variable de la génératrice et qui est lui-même alimenté directement par le transformateur d'intensité du circuit d'électrode.

2° Cylindre hydraulique.

α) *Relais hydraulique Arca.* — Le système Arca emploie un cylindre hydraulique à simple effet, un contrepoids produit la vidange du cylindre. Le transformateur d'intensité alimente un électro-aimant dont les mouvements sont transmis au levier du relais hydraulique. Les déplacements de ce levier ouvrent ou ferment un ajutage, qui cause des variations de pression dans une chambre à membrane souple solidaire du tiroir distributeur. Celui-ci est donc soumis aux actions antagonistes d'un ressort et de la pression de l'eau sur la membrane souple.

Un mouvement du levier correspondant à 7 centièmes de millimètre à l'ajutage, suffit pour renverser la marche du piston. Le réglage préalable du relais est fonction de la pression d'eau de service qui peut varier dans de grandes limites (de 1 à 6 kg/cm^2).

Digitized by Google

β) *Relais électrique B. B. C.* — Le distributeur est commandé par un relais électrique formé d'un tambour métallique soumis au couple d'un ressort et à un champ tournant. Ce champ dépend du courant d'électrode puisqu'il résulte de l'action de deux bobinages alimentés par le transformateur d'intensité. Le tambour métallique est en équilibre pour le courant normal ; si celui-ci varie, le tambour tourne et entraîne le distributeur hydraulique.

III. — *Remarques générales.*

On peut comparer les divers systèmes au point de vue du nombre des contacts mobiles ; les trois derniers n'en possèdent aucun.

On peut aussi les comparer au point de vue de la rapidité d'action ou de la facilité de passage à la commande à main.

Dans le premier groupe, l'inertie des moteurs doit être une cause d'infériorité. On peut imaginer des systèmes électriques avec peu d'inertie mécanique, par exemple, un système employant des renversements de marche électromagnétiques à chaque électrode présenterait peu d'inertie mécanique et permettrait de réduire considérablement le nombre des machines tournantes.

Les régulateurs hydrauliques semblent posséder de grands avantages sur les autres, à plusieurs points de vue.

Pour un four diphasé, on peut employer un relais de tension nulle. En cas de manque de courant, le régulateur agit comme s'il y avait une augmentation d'intensité, les électrodes remontent.

Pour un four triphasé, en cas de manque de courant, les électrodes sont bloquées à leur position actuelle par la fermeture automatique des soupapes placées sur la conduite d'eau du cylindre hydraulique.

IV. — *Résultats obtenus.*

Les régulateurs automatiques conduisent à une économie de personnel, mais leur principal avantage réside dans la régularité de la puissance absorbée comme le montrent facilement les graphiques des appareils enregistreurs (wattmètres ou ampèremètres).

Digitized by Google

4e SECTION

Président : M. GRATZMULLER.

SÉANCE DU 9 DÉCEMBRE 1926. — *Essais de câbles à haute tension.*

La Société française des Electriciens a reçu du Comité national néerlandais de la Conférence internationale des Grands réseaux électriques, par l'intermédiaire du Secrétariat général permanent de cette Conférence un questionnaire ainsi libellé :

« Pour les livraisons internationales de câbles, il est très désirable de normaliser au moins les stipulations principales des épreuves ; c'est pourquoi le Comité néerlandais serait heureux, si vous vouliez bien le renseigner sur les points suivants :

a) Quelles sont les prescriptions en vigueur dans votre pays pour l'épreuve de câbles à haute tension ?

b) Ces prescriptions sont-elles reconnues comme justes dans votre pays, ou bien a-t-on proposé de les modifier ou de les compléter ?

c) Dans ce dernier cas, quelles sont ces propositions ? Tendent-elles à obtenir un examen diélectrique plus approfondi ou à élever les tensions d'épreuve ? »

Ce questionnaire était accompagné d'une note résumant les critiques qu'a soulevées le rapport n° 28 présenté par le Comité néerlandais à la session de 1923 de la Conférence et qui proposait de déterminer la variation des pertes dans le diélectrique d'un câble entier, en fonction de la tension et de la température. La note ajoutait que les deux méthodes principales pour vérifier la qualité d'un câble, sont basées, l'une, sur l'idée qu'il ne doit se produire en service aucun phénomène pouvant nuire à la qualité de l'isolant ; l'autre, sur la recherche de la tension pour laquelle il ne se produit plus de disruption.

La première méthode conduit à la mesure des pertes suivant les prescriptions néerlandaises pour les câbles à 10 000 V ; l'autre, au relevé de la caractéristique de la tension de rupture en fonction du temps.

M. SOLERI a proposé, pour gagner du temps, de déterminer un seul point de cette caractéristique et d'essayer en outre chaque câble à une tension relativement très élevée. M. SPRUIJT, auteur de la note, fait remarquer que, si l'application de la première méthode donne la certitude que les câbles ne seront pas endommagés à la longue sous la

Digitized by Google

tension de service, par suite de phénomènes à évolution lente, il n'en est pas de même de la seconde méthode, car ces phénomènes n'ont pas le temps de se manifester au cours d'un bref essai de tension. Par contre, la seconde méthode a l'avantage de déceler les points faibles, sans présenter de danger pour l'isolant, du moment que la tension atteinte reste en dessous de la courbe caractéristique de rupture.

En annexe à la note de M. SPRUIJT étaient joints, une traduction des prescriptions néerlandaises pour l'épreuve des câbles à 10 000 V et le texte de la proposition de M. SOLERI.

Après discussion, le texte suivant a été transmis au Secrétaire général de la Conférence des Grands Réseaux, pour être envoyé au Comité néerlandais.

« Nous avons l'honneur de vous accuser réception de votre lettre du 15 octobre 1926, par laquelle vous nous demandez divers renseignements au sujet des prescriptions concernant les épreuves des câbles souterrains, en vue d'une étude de normalisation des méthodes d'essais utilisés par les divers pays.

Les prescriptions en vigueur en France pour l'épreuve des câbles à haute tension sont celles du cahier des charges pour la fourniture de câbles sous plomb, isolés au papier imprégné, qui ont été arrêtées par le *Comité de Direction de l'Union des Syndicats.*

Ces règles avaient été élaborées par le *Comité électro-technique français*, dans sa séance du 30 juin 1917, après étude faite par une Commission qui comprenait des représentants de la *Société française des Electriciens* et de l'*Union des Syndicats de l'Electricité.*

Elles sont contenues dans la publication n° 188 de l'*Union des Syndicats de l'Electricité*, dont nous vous remettons un exemplaire sous ce pli.

Ces règles comportent, en particulier, pour l'épreuve en usine des câbles destinés à fonctionner sous des tensions inférieures à 20 000 V, un essai à 4 fois la tension de service pendant 3 minutes, suivi d'un essai à 3 fois la tension de service pendant 30 minutes.

En France, l'application de ces règles de l'Union des Syndicats de l'Electricité a donné, jusqu'ici, satisfaction et nous constatons que, dans la plupart des pays où l'on a admis des épreuves de tension moins sévères, on a été conduit à chercher à les compléter par d'autres épreuves.

Digitized by Google

En France même, certains exploitants appliquent, après l'essai en courant alternatif et dans le but de déceler les défauts d'imprégnation, un essai en courant continu sous une tension égale à 6 fois la tension alternative efficace de service. On constate, en effet que, du moins pour des essais de courte durée, le rapport des tensions de claquage en courant continu et en courant alternatif est d'autant plus voisin de l'unité que le câble est moins bien imprégné.

Nous limitons actuellement notre réponse aux câbles destinés à fonctionner sous des tensions inférieures à 20 000 V. La question des essais des câbles destinés à fonctionner sous des tensions supérieures à 20 000 V fait actuellement l'objet d'une étude complémentaire et nous présenterons un rapport à ce sujet à la *Conférence Internationale des Grands Réseaux de* 1927 ».

M. Bacqueyrisse exposa ensuite un résumé de la communication qu'il fera dans une des plus prochaines séances publiques de la Société sur *l'évolution récente dans la construction du matériel roulant des tramways électriques.*

5e SECTION

Présidence de M. Reynaud-Bonin.

Séance du 17 décembre 1926, à 17 h. — 1° M. Magunna présente *Un nouveau pavillon renforçateur et diffuseur de son pour haut-parleur, Système « Magunna ».*

Ce pavillon a été imaginé et combiné de manière à obtenir une reproduction amplifiée des sons, en conservant à ceux-ci toute leur pureté et cela en se présentant sous une forme à la fois rationnelle, ramassée et élégante.

Ce pavillon se compose de trois organes : un réflecteur parabolique à grande ouverture ; une bague ajourée de réglage de la diffusion, et une conque, dont la section varie suivant la loi exponentielle. La ligne médiane de la conque est conformée de manière à affecter la forme d'un col de cygne, et débouche dans l'axe du réflecteur, et à petite distance de ce dernier.

L'extrémité la plus étroite de la conque forme une tubulure conique qui vient s'engager dans la douille montée sur le socle qui contient le générateur électro-magnétique de sons.

Digitized by Google

Cette combinaison présente les avantages suivants :

Au point de vue mécanique, la conque étant placée dans un plan de symétrie vertical, assure l'équilibre du système et au point de vue acoustique, l'appareil, grâce à sa symétrie complète par rapport au plan vertical, assure une grande homogénéité et une grande pureté dans l'amplification et la diffusion des sons. Cet agencement dispense donc d'appliquer des procédés spéciaux pour éviter la production de résonances parasites ou propres autour du réflecteur, résonances qui pourraient être produites par l'emprisonnement d'une colonne d'air.

On obtient ainsi un rayonnement acoustique et une diffusion excellente du son, en même temps qu'un volume maximum de son sans déformation.

M. MAGUNNA présente *La pile thermo-électrique, Système Miéville.*

On sait, depuis BECQUEREL, que certaines soudures se comportent comme de véritables piles lorsqu'on les soumet à certaines températures, mais on n'obtenait de ces couples thermo-électriques que des courants infimes utilisés, par exemple, dans les pyromètres.

La difficulté résidait dans ce fait, que tous les alliages qui favorisaient la génération du courant, s'opposaient précisément à son passage et l'on n'avait pu obtenir que des rendements infimes limitant l'application de ces piles aux appareils de mesure.

Les récents travaux de M. MIÉVILLE ont permis de réaliser pour la première fois des groupes thermo-électriques véritablement industriels.

La Société Hervor construit des appareils débitant une intensité de 0,3 A à 0,5 A sous une tension que l'on peut augmenter à volonté en allongeant la chaîne des couples thermiques, capables, par conséquent, de remplacer l'accumulateur dans l'alimentation des postes de T. S. F.

Ces appareils se présentent sous la forme d'une petite chaufferette électrique, qu'il suffit d'intercaler entre le secteur (indifféremment continu ou alternatif) et l'appareil de T. S. F.

L'appareil ayant un volant calorique correspondant à environ 1 minute, les transformateurs et les lampes ne sont plus soumis aux brusques interruptions qui les détériorent rapidement.

Trois types normaux sont construits actuellement :

Digitized by Google

Type A	120 éléments	4 V	0,3 A
Type B	140 éléments	4 V	0,5 A
Type C	38 éléments	1,5 V	0,3 A

Ces appareils marquent un progrès appréciable dans le chauffage des filaments des lampes de T. S. F.

Le chauffage par tout autre moyen que l'électricité peut être envisagé.

Le conférencier présente un certificat du Laboratoire Central d'Electricité, d'après lequel l'intensité du courant continu, traversant l'élément de pile était de 0,3 A quand la différence de potentiel aux bornes du circuit de chauffage était de 110 V. La différence de potentiel aux bornes de la résistance d'utilisation était de 4,1 V.

Aucun changement n'a été constaté dans le fonctionnement de l'appareil au bout de 2 000 heures d'utilisation continue.

M. MAGUNNA *expose son système de transformateurs à couches cloisonnées et isolées entre elles.*

Le problème de l'amplification basse fréquence est le suivant : fournir aux casques ou haut-parleurs un courant provenant de la dernière lampe basse fréquence du poste, ce courant reproduisant, amplifié, exactement le courant appliqué à l'entrée de la basse fréquence.

Plusieurs méthodes ont été employées pour obtenir ce résultat. Disons, tout de suite, que l'amplificateur à résistance donne des résultats satisfaisants au point de vue qualité du son, mais que la puissance qu'il fournit est très insuffisante.

Nous allons examiner ici l'amplification basse fréquence à transformateur.

On se trouve placé, pour réaliser un transformateur parfait, entre plusieurs solutions, qui sont inverses les unes des autres.

D'un côté, il faut que les transformateurs comprennent le plus grand nombre de spires possible. D'autre part, la résistance ohmique des enroulements doit être la plus faible possible. Pour satisfaire la seconde condition, on peut employer un fil de fort diamètre. Mais, à ce moment, l'encombrement devient très important et les dernières spires sont trop éloignées du noyau magnétique.

Le transformateur basse fréquence joue dans un poste un double

Digitized by Google

rôle. Il est d'abord organe de liaison entre les lampes ; ensuite, il est chargé de modifier les caractéristiques du courant.

Pour que l'on n'ait pas de distorsion, il faut :

1° Disposer de lampes dont la caractéristique plaque soit absolument rectiligne ;

2° Avoir un transformateur combiné d'une telle façon que le noyau magnétique soit loin des conditions de saturation.

La première condition nécessite que l'impédance du primaire soit sensiblement supérieure à la résistance filament-plaque de la lampe utilisée, et cela pour la gamme de fréquences couramment employées (de 50 à 5 000).

D'autre part, comme il faut avoir une self-induction maximum, il faut chercher le raccourcissement du circuit magnétique et l'augmentation de sa section.

Si l'on met trop de fil, on a une augmentation de la capacité (qui est nuisible d'abord par son action sur l'impédance, et ensuite parce que les oscillations traversent directement le transformateur sans le faire agir).

Si l'on met trop de spires, on risque de saturer le noyau.

Il faut cependant reconnaître que certains constructeurs sont arrivés à produire des transformateurs basse fréquence, donnant à la fois une bonne amplification et une grande pureté. Mais la fabrication est très délicate et de grandes précautions doivent être prises. Il faut employer une carcasse à fort isolement ; il faut faire un bobinage aussi fractionné que possible, où chaque couche est soigneusement isolée de la suivante et où, dans la même couche, le fil est le plus réparti possible par des cloisonnements. A condition de prendre ces précautions, la capacité n'est dangereuse ni sur le secondaire (ce qui évite une résonance à une fréquence audible) ni sur l'ensemble du transformateur, ce qui évite que le courant ne traverse le transformateur sans que celui-ci agisse sur lui.

Tout ceci montre qu'il faut de grandes précautions pour faire un bon transformateur, et qu'il faut rejeter les transformateurs trop petits, n'ayant ni assez de fer, ni assez de cuivre, et dont le bobinage, fait à la volée, introduit une capacité dangereuse.

Digitized by Google

Types de transformateurs cloisonnés " MAGUNNA " pour basse fréquence T. S. F. construits par la Société " Hervor "

Types	Rapport	Primaire Alvéoles	Secondaire Alvéoles	Primaire Tours	Secondaire Tours	R Primaire en ohms	R Secondaire en ohms
A/2	1/3	10	30	2 000	6 000	340	1 320
A/2	1/5	10	50	2 000	10 000	340	2 250
A/3	1/3	15	48	3 000	9 000	550	2 100
A/3	1/5	15	84	3 000	15 000	550	4 200

N.-B — Sur le même principe des transformateurs à 4 000 et 5 000 tours primaires sont établis.

M. VASSILLIÈRE-ARLHAC *présente les appareils construits par les Ateliers J. Carpentier pour les mesures téléphonométriques.*

Ces appareils se divisent en deux catégories :

1° Les appareils étalons destinés aux mesures et recherches en laboratoire.

2° Les appareils de précision établis pour les essais sur câbles en cours de fabrication, pendant la pose, et enfin pour l'entretien des lignes téléphoniques en service.

Appareils de la 1re catégorie.

Un générateur de courant ondulé capable de donner des courants sinusoïdaux de pulsations comprises entre 1 000 et 30 000 radians par seconde.

Le circuit oscillant comporte une réactance à enroulements égaux et des condensateurs de réglage. Les réglages sont réalisés au moyen de commutateurs-combinateurs à 20 *directions*. Ce générateur débite après filtrage et transformateur à écran un courant de 50 milliampères sur 50 ohms.

Le fréquence mètre est basé sur le montage connu de ROBINSON.

Le filtre est du type passe-bas à trois cellules. Le modèle de laboratoire est à combinateur multiple, permettant d'agir simultanément sur les trois capacités. A ce filtre est adjoint un transformateur à écran équilibré.

Parmi les éléments constitutifs du pont de Wheatstone figurent également une tête de pont, formée de deux résistances fixes de même valeur : 2(10 + 100 + 1 000) ohms ; les boîtes de résistance variables sont du type à quatre et cinq cadrans ; les bobinages utilisés par la Maison J. Carpentier permettent de réaliser des constantes de

Digitized by Google

temps inférieures à 2×10^{-8} pour les différents éléments et à 800 périodes par seconde.

En ce qui concerne les condensateurs et les boîtes de capacité du type à décades, l'angle de déphasage à 800 périodes est inférieur à 2 minutes environ.

Le Conférencier présente ensuite un ensemble d'appareils de la deuxième catégorie qui comporte dans une caisse métallique : un générateur de courant ondulé ; un fréquence mètre et un filtre. L'ensemble est prévu pour être monté sur panneaux métalliques dans les stations d'essai ou les stations de relais.

Tous les autres appareils nécessaires à la mesure de la diaphonie, aux mesures de déséquilibre, de résistance, de capacité, d'impédance, sont réalisés d'après le même type. Ceci permet de combiner des panneaux complets d'essais avec des cellules de même dimension.

Parmi les différents appareils également réalisés : un pont de Wheatstone pour les mesures de la capacité mutuelle, un pont sur les mesures de déséquilibre d'impédance, un appareil pour la mesure des différences de niveau de transmission.

Le Conférencier décrit ensuite un nouveau diaphonomètre possédant une échelle d'affaiblissement très étendue et variant par bonds très petits. Cet appareil, auquel est adjoint un commutateur-combinateur, permet d'obtenir 399 valeurs différentes.

Il est essentiellement formé par un T dissymétrique constitué par trois résistances sans self-induction ni capacité.

L'appareil permet de faire toutes les mesures connues sur circuits dissemblables et aux différentes fréquences.

En ce qui concerne les lignes artificielles, deux types ont été réalisés. Le premier est le type en H nécessaire dans la plupart des montages et pour mesures de diaphonie, d'affaiblissement, d'amplification, etc... Il a l'avantage sur le type en T de pouvoir être mis en série avec des montages extérieurs ou des lignes équilibrées.

Deux modèles ont été réalisés. Le premier, pour affaiblissement compris entre 0 et 11, est à deux cadrans. Le deuxième, pour affaiblissement entre 0 et 5,5, variable par 0,05, comporte également deux cadrans.

Le second type de lignes concerne les lignes artificielles étalons. Un grand nombre de ces lignes a déjà été fourni par les Ateliers J. Carpentier et, en particulier, pour l'essai des téléphones.

L'auteur décrit ensuite brièvement les différents essais à faire sur

Digitized by Google

les bobines de charge, tant sur les boîtes de bobines que sur les caisses de bobines. Ces essais sont similaires à ceux décrits précédemment pour les câbles téléphoniques.

Enfin, il termine en décrivant quelques appareils réalisés pour le duplexage des câbles et des lignes aériennes, en particulier, les lignes artificielles de 7 et 14 sections, les condensateurs. L'un et l'autre sont du type à papier imprégné et ont un coefficient de température négligeable. Puis les ponts duplex et les rhéostats quart d'ohm.

Les Ateliers J. Carpentier peuvent dès maintenant fournir tous les appareils nécessaires, aussi bien pour la téléphonométrie que pour le duplexage et avec des garanties identiques à celles des constructeurs étrangers.

Au sujet de la terminologie :

M. CAHEN demande pourquoi la Maison Carpentier emploie le terme de *générateur de courant ondulé ?* Ne vaut-il pas mieux dire *de courant alternatif de fréquence musicale ?*

Au sujet des résistances étalons à faible angle de phase :

M. CAHEN fait observer qu'un certain nombre de procédés ont été employés pour arriver à réduire l'angle de phase, entre autres, celui breveté par la Maison Sullivan de Londres et le procédé Ayrton et Mather employé par la Société d'Etudes pour liaisons téléphoniques, et perfectionné suivant un procédé breveté. Avec ce dernier système, la Selt a obtenu des angles de phase du même ordre que la Maison Carpentier. M. VASSILIÈRE pourrait-il indiquer quel est le genre d'enroulement utilisé par sa maison ?

M. VASSILIÈRE fait connaître que la Maison Carpentier n'a créé aucun type nouveau d'enroulements. Elle s'est seulement attachée à bien construire des types déjà connus.

M. CAHEN présente des observations générales sur la question des *appareils de mesure pour courants téléphoniques.*

Il rappelle avoir pris l'initiative, il y a environ trois ans à la troisième Section des Electriciens d'appeler l'attention des constructeurs sur l'importance que présentait la question et sur le danger que faisait courir à l'industrie française la carence des constructeurs de précision.

Il est heureux de voir que cet appel a été entendu et il félicite la

Digitized by Google

Maison Carpentier des résultats obtenus ; il est toutefois regrettable que cette Maison n'ait pas cru devoir récemment exposer ses appareils à l'Exposition Internationale organisée par le Comité Consultatif des communications à longue distance.

De la sorte, la Société d'Etudes s'est trouvée seule, en présence de la puissance formidable des industries anglo-saxonne et allemande, à représenter la France à cette Exposition pour la construction de tels appareils, car, depuis trois ans, elle a créé elle-même le matériel qui lui était nécessaire et qu'elle ne pouvait trouver en France.

Elle a ainsi établi :

Un potentiomètre à courant alternatif qui a fait l'objet de plusieurs communications.

Plusieurs systèmes de générateurs, dont un à très basse fréquence ; et de nombreux montages pour les mesures courantes de la ligne ou de l'usine.

Elle a également breveté un système d'enroulement équilibré pour transformateur, permettant de réduire à des proportions extrêmement faibles la différence de résistance, self-inductance et capacité entre les deux moitiés des enroulements.

Sans vouloir prétendre à faire des appareils de mesure, comme le font les constructeurs spécialisés dans ce travail, M. CAHEN croit devoir revendiquer pour sa Société, l'honneur d'avoir établi des types intéressants et utiles et a cru nécessaire, puisque, aujourd'hui, on vient présenter des appareils nouveaux, de signaler parallèlement à cet effort, celui qui a été accompli par ses collaborateurs.

Digitized by Google

TRAVAUX DU GROUPE DU SUD-OUEST DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

L'état actuel de la téléphonie, M. Mercier, p. 118. — La question du facteur de puissance, M. Foch, p. 119. — Divers procédés employés pour l'amélioration du facteur de puissance, M. Delasalle, p. 119.

Sous la présidence remarquablement active de son Président, M. Chevallier, le Groupe a entendu, en 1926, une série de conférences des plus intéressantes.

Le 23 janvier, M. Mercier, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux exposait, d'une manière très vivante et très précise, *l'état actuel de la radiotéléphonie*. Après avoir rapidement noté le développement extraordinaire atteint par la radiophonie aux Etats-Unis, sous le régime de pleine liberté, celui beaucoup plus modéré auquel, sous une réglementation assez étroite, elle est parvenue en Angleterre et les progrès qu'elle accomplit chaque jour en France, il résuma avec une admirable clarté les solutions données aux problèmes nombreux et ardus que pose la nouvelle technique :

modulation, aux fréquences de la voix humaine, d'une onde porteuse à haute fréquence ;

détecteurs suppléant notre impuissance congénitale à percevoir directement les ondes ;

emploi des courtes longueurs d'onde ;

suppression de l'onde porteuse pour les communications transatlantique ;

lampes à trois électrodes, oscillatrices et amplificatrices, etc...

Il décrivit ensuite le poste émetteur de la Tour Eiffel en donnant, à ce propos, des indications caractéristiques sur le microphone à condensateur qui y est employé, ainsi que sur le microphone à bague d'aluminium de la Station de Londres, sur le microphone à ruban métallique de Siemens et Halske, sur le microphone à cellule photoélectrique du poste de New-York, celui-ci permettant de communiquer avec l'Europe ; il donna quelques indications sur les précautions très diverses qui doivent être prises pour mettre les microphones à l'abri

Digitized by Google

de tout bruit parasite. Après quelques mots sur la constitution des antennes, il donna le schéma de montage du poste de Croix d'Hins, où la modulation se fera, non comme à la Tour, sur la grille des lampes émettrices, mais sur la plaque des excitatrices. Il termina par des données théoriques et pratiques sur l'installation des récepteurs et il souhaita de voir la radiotéléphonie s'orienter de plus en plus vers des buts instructifs et éducatifs.

Le 27 février, M. Foch, Professeur à la Faculté des Sciences, traita devant le Groupe *la question du facteur de puissance*. Il en envisagea les différents aspects et fit saisir à ses auditeurs, par des exemples numériques fort démonstratifs, tous les inconvénient des faibles facteurs de puissance, les avantages corrélatifs que présente leur relèvement, en même temps que les limites au delà desquelles il n'y a plus intérêt à le poursuivre. Conférence des plus intéressantes et, en même temps des plus profitables pour les industriels, de plus en plus nombreux, que les réseaux de distribution alimentent en force motrice.

La discussion qui la suivit montra d'ailleurs, à quel point elle avait porté.

Le 24 avril, M. Delasalle, Vice-Président du Groupe, donna à la Conférence précédente sa suite logique en exposant les *divers procédés employés pour l'amélioration du facteur de puissance*. Après avoir rappelé que la question est trop complexe pour ne pas être soigneusement étudiée dans chaque cas particulier, il caractérisa, par des exemples, les divers systèmes utilisés : condensateurs statiques, moteurs synchrones surexcités, condensateurs ou compensateurs synchrones, moteurs asynchrones compensés, dispositifs vibrateurs de Boucherot, moteurs asynchrones synchronisés suggérés par Soulier, étudiés par Le Monnier.

Ayant, au cours de cette revue très complète, très précise et très claire, indiqué les avantages et les inconvénients de chacun des procédés, il se défendit, en terminant, de prendre parti pour l'un ou l'autre ; mais il rappela les différentes conditions dont il doit être tenu compte avant de faire un choix et il conclut en insistant à nouveau sur la nécessité de recourir aux lumières d'un technicien averti.

Nous ne pouvons que nous féliciter de voir notre Groupe du Sud-Ouest persévérer dans la voie de ces communications d'un caractère largement utilitaire et de trouver, pour les exposer, une aussi brillante pléiade de conférenciers.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ [1]

Production et utilisation mécanique de l'électricité

Les machines asynchrones à champs tournants à bagues et à collecteur. *Théorie générale et applications*, par Richard Langlois, Ingénieur, chef du service technique aux ateliers de Constructions Électriques de Jeumont. Avec une préface de D. Berthelot, membre de l'Académie des Sciences. — Paris, Dunod, 1926; un vol. broché $25^{cm} \times 16^{cm}$, de XVI-268 pages, avec 120 figures. (Don de l'Éditeur).

Télégraphie. — Téléphonie.

Contributions théoriques et pratiques à la Technique des Communications à longue distance, publiées par la Société d'Études pour Liaisons Téléphoniques et Télégraphiques à longue distance. *1921-1926*. — Paris, les Presses Universitaires de France, 1926; un vol. broché $27^{cm} \times 22^{cm}$, de 223 pages, avec figures. (Don de la Société d'Études).

Statistique générale de la Téléphonie, dressée d'après des documents officiels par le bureau internationnal de l'Union télégraphique, *Année 1924*. — Berne, Bureau international de l'Union télégraphique, 1926; une brochure $29^{cm} \times 22^{cm}$, de 28 pages. (Don du Bureau international).

Recherches physiques.

Annales de l'Institut de Physique du globe, de l'Université de Paris et du Bureau central de magnétisme terrestre, publiées par les soins de M. Ch. Maurain. Tome IV. — Paris. Les Presses Universitaires de France, 1926; un vol. broché $31^{cm} \times 25^{cm}.5$, de 163 pages avec figures et cartes. (Don de l'Institut de Physique du globe).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Électriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours sauf le Dimanche.

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Production et utilisation mécanique de l'électricité.

La Technique de la Houille blanche et des réseaux et usines hydro-électriques, par E. Pacoret, Ingénieur A. et M. — Préface de A. Blondel, membre de l'Institut, 2 volumes L. I-1578 pages (16 × 25) avec 871 figures et 14 planches hors texte. Ouvrage couronné par la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

Cette 1e édition de l'ouvrage de M. Pacoret apporte de nombreux compléments aux précédentes. Le vaste sujet de la « houille blanche » est traité dans son ensemble : hydrographie, hydrologie, régimes des cours d'eau, jaugeages, canaux, conduites forcées, barrages, turbines hydrauliques, réservoirs régulateurs, création des chutes d'eau, centrales et supercentrales, réseaux, usines marémotrices.

Un important chapitre est consacré à la législation et réglementation des cours d'eau, en France et à l'étranger. L'ouvrage se termine par des exemples relatifs à l'étude technique et économique des usines hydroélectriques. Bien que les indications d'ordre financier données par l'auteur ne correspondent pas à la valeur actuelle de notre monnaie, elles fournissent cependant des points de repère fort utiles. Avec un peu de jugement, le lecteur peut apprécier sainement le rôle économique de la « houille blanche » et déterminer la mesure dans laquelle l'aménagement de nos ressources hydrauliques contribue au relèvement national.

Polyphase Induction Motors, par R. D. Archibald, D Sc. M I. E. E. Assoc. M. Inst C E. — London, Chapman and Hall, Ltd., 1926, un vol relié toile 18cm × 12cm, de VII-88 pages avec 46 figures. (Don de l'éditeur).

Ce petit ouvrage est un traité simple de la théorie et du calcul du moteur asynchrone. Il s'adresse principalement aux étudiants et aux jeunes ingénieurs ; aussi l'auteur évite-t-il les calculs compliqués et se contente-t-il de formules simplifiées, mais néanmoins suffisamment exactes pour les besoins de la pratique la plus courante. Un exemple de calcul numérique complète l'ouvrage. Tel quel, ce petit livre paraît répondre fort bien au but que s'est proposé son auteur.

Transmission par ondes.

Les Filtres Electriques. — *Théorie, Construction, Application,* par Pierre David, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur à la Radiographie Militaire. — Préface de M. le général Ferrié, membre de l'Institut. - Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1926 ; un vol. broché 25cm × 16cm 5 de 130 pages, avec 76 figures et hors texte (Don de l'éditeur.)

Etant donnée une onde complexe constituée par la composition d'ondes simples plus ou moins nombreuses, on peut être amené à faire un tri de ces

Digitized by Google

ondes simples et à les séparer d'après leur fréquence. On peut désirer ne conserver que les ondes dont la fréquence est supérieure ou inférieure à une certaine limite ; on peut encore chercher à ne conserver ou au contraire à éliminer celles des ondes simples dont la fréquence est comprise dans une certaine bande.

Les filtres électriques sont des montages permettant ce tri et cette séparation des ondes de courant électrique. Leur emploi est déjà important dans la technique des télécommunications et des radiocommunications : il tend à se développer de plus en plus.

Dans son exposé, l'auteur commence par montrer comment des notions très simples, familières à tous, permettent de se rendre compte de la possibilité de réaliser le filtrage, au moyen d'éléments en nombre infini et de résistance nulle. Il indique ensuite comment ces résultats spéculatifs peuvent être obtenus pratiquement au moyen d'éléments en nombre fini présentant une résistance suffisamment faible. Une étude plus complète permet l'établissement de filtres auxquels sont imposés des conditions supplémentaires.

Dans une seconde partie, l'auteur tire de son exposé théorique des règles simples et précises permettant le calcul d'un filtre répondant à des conditions données, compte tenu notamment de la simplicité du montage et de l'économie. Plusieurs exemples numériques précisent le sens de ces règles. Enfin, un tableau récapitulatif indique les principaux types de filtres répondant aux diverses conditions que l'on peut s'imposer, et rappelle les formules indiquant, pour chacun de ces filtres quelles sont ses caractéristiques de transmission en fonction des constantes électriques des éléments entrant dans sa composition.

L'exposé est très clair, très facile à lire, ne comporte aucune débauche de calculs et est cependant très correct et très précis.

Chauffage.

La Cuisine domestique à l'Electricité. — M. Foulcher. Président du Syndicat des Constructeurs de Matériel pour le chauffage électrique.

Le *Bulletin* de novembre 1926 contenait, p. 1303, un compte rendu bibliographique du volume relatant les rapports présentés les 10, 11 et 12 mars derniers, à l'occasion de la Foire de Lyon, dans les réunions tenues sous les auspices du Syndicat des producteurs et distributeurs du Sud-Est et de la Cie du Gaz de Lyon.

Une erreur inexplicable a fait disparaître de ce compte rendu l'un des rapports qui ont été les plus appréciés, étant tout imprégné de cet esprit délicat qui, depuis Brillat Savarin jusqu'à Alibab, a toujours caractérisé les propos de gourmets. Il s'agit du rapport présenté à la Section du chauffage par accumulation, par M. Foulcher, Président du Syndicat des Constructeurs de Matériel pour chauffage électrique. M. Foulcher a conté à ses auditeurs comment il dut s'initier aux finesses souvent ardues du métier de cuisinier et construire un four permettant à volonté de réussir la croûte d'une meringue, de dorer une dinde, de gratiner un macaroni. Il sut démontrer aux sceptiques que la cuisine électrique permettrait (qui l'eût cru ?) des économies défiant toute concurrence, tout au moins quand il s'agit de chauffer un four ou un gril. Il dut concéder toutefois que la cuisson par plaques chauffantes, bien barbare, n'était guère acceptable que par les palais extradry des Américains. Mais il triompha de nouveau et définitivement, grâce au système de cuisinière dans laquelle une accumulation fournit le fond de calorique à température peu élevée, les pointes étant servies par des corps de chauffe de forme appropriée. Il remarqua que, en tous cas, la cuisine électrique supprime les pertes de fumet et de suc : pertes si désespérantes pour les gourmets que ceux du Haut Bugey n'abordent, dit-on, une aile de faisan et un verre de Pommard qu'ensevelis sous une serviette qui canalise vers leurs papilles les précieuses vapeurs. Et ne convenait-il pas que cette savante leçon sur la bonne cuisine fut faite dans une de nos capitales gastronomiques ?

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

SOMMAIRE

I. — Comptes rendus des réunions :

1° Réunion ordinaire du 6 janvier 1897 : *a)* Voiture électrique, M. Krieger, p. 123. *b)* La traction électrique dans Paris (discussion). Maréchal, Lauriol, Vuilleumier, Mekarski Vedovelli, Regnard, p. 123.

2° Réunion extraordinaire du 20 janvier 1897 : La traction électrique dans Paris (suite de la discussion), Bochet, Korda, p. 124.

I. — COMPTE RENDU DES RÉUNIONS

1° Réunion ordinaire du 6 Janvier 1897.

Présidence de M. Sciama.

a) M. Kriéger expose les travaux qu'il a exécutés, au cours des trois dernières années, avec le concours de Rechniewski : moteurs légers, robustes et de rendement voisin de 90 pour 100 à toutes vitesses, traction par l'avant-train, attaque des roues motrices par un seul train d'engrenages ; adoption d'un moteur par roue motrice, montage électrique maintenant, pour chaque moteur, l'égalité du champ inducteur et de la différence de potentiel aux bornes, ce qui assure l'égalité des vitesses ; servo-moteur électrique de direction.

Le premier fiacre ainsi transformé, muni de 285 kg d'accumulateurs Fulmen, fournissait un parcours de 30 km à la vitesse moyenne de 12 km/h. Un second fiacre, à châssis métallique, muni de 640 kg d'accumulateurs Julien, de 450 Ah de capacité, fournit à la même vitesse moyenne des parcours de 60 à 80 km.

b) La traction électrique dans Paris.

M. Maréchal, Ingénieur du Service municipal de la ville de Paris, expose que le trolley est parfaitement admissible sur beaucoup de voies parisiennes, et que d'ailleurs, un premier essai va en être tenté sur l'avenue Daumesnil ; qu'il pourrait d'ailleurs être appliqué en

Digitized by Google

système mixte, soit à accumulateurs et trolley, soit à conducteur souterrain et trolley, sous la réserve que les rails de roulement devraient être pris pour former les rails de la rainure et que les deux voies seraient desservies par une galerie visitable de 1 m 20 de profondeur; ce dernier système serait établi sur les lignes de pénétration ou à faible circulation, les lignes intérieures à grande circulation étant desservies par le caniveau visitable à section réduite. Il signale d'ailleurs l'inconvénient de la poussée du pavé de bois sur la rainure du caniveau. Il préconise l'exploitation intensive avec départs toutes les deux ou trois minutes, arrêts en des points déterminés et en aval des carrefours et la suppression des impériales. M. LAURIOL, Ingénieur au même service, combat le trolley au nom de l'esthétique. Il croit possible de remédier aux quelques inconvénients révélés sur la ligne de Romainville par le fonctionnement des contacts superficiels. Il signale que le caniveau essayé rue de Châteaudun a subi avec succès l'épreuve de l'eau pendant l'été 1896. Après que M. VUILLEUMIER eut défendu le système à contacts superficiels et M. MEKARSKI le rendement du système à air comprimé, M. VEDOVELLI proclama que l'emploi direct sur les voitures du courant produit par de grandes centrales, constituait la seule solution possible de la traction dans Paris. Il se déclara opposé : au caniveau souterrain, en raison de son prix et de la difficulté d'y maintenir un bon isolement par les grandes pluies ; au trolley, en raison de sa laideur, des dangers de rupture de fil, ajoutant que bientôt en Amérique, poteaux et trolleys auraient rejoint les vieilles lunes. Il prétendit que la traction électrique ne se ferait vite et bien que par les systèmes à contacts superficiels. Il critiqua d'ailleurs, pour leurs détails d'exécution, les systèmes existants de WUILLEUMIER, WHEELESS, DIATTO et énuméra les caractéristiques que devrait présenter un tel système pour être parfait. M. REGNARD reprit la parole pour qualifier de bâtard et de ruineux le futur métropolitain.

2° Réunion extraordinaire du 20 Janvier 1897.

M. BOCHET exposa un système de contacts aériens posés, par exemple, sur les candélabres et alimentant, sans conducteur visible, des trains de deux voitures. M. KORDA donna des renseignements sur les systèmes avec batterie tampon placée à la station génératrice ou sur les voitures et sur les systèmes mixtes avec changement d'accumulateurs en cours de route.

L'Imprimeur-Editeur : Etienne CHIRON, Paris.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du 5 février 1927, p 127.
Admission des membres titulaires, p. 127.
Membres décédés, p. 128.
Don à la Société, p 128.
Don au Laboratoire, p. 128.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Utilisation des câbles téléphoniques pour les communications interurbaines à grande distance ; caractéristiques et constitution des câbles téléphoniques à grande distance. — Fabrication et installation des câbles téléphoniques. — Le réseau de câbles français et le câble Paris-Strasbourg-Bâle (M. VIARD), p. 131. — Installations exécutées par la Société d'Études pour liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance (M. L. CAHEN), p. 153.

DISCUSSIONS DE LA SEMAINE D'OCTOBRE 1926 (suite) :

2e Section : Sommaire, p. 166. — Utilisation de la lumière dans les appareils d'Eclairage public (MM. MAISONNEUVE, DESARCES, WETZEL, MATIGOT, BRANDT), p. 166. — L'éblouissement visuel (MM. COUVREUX, BLONDIN, MATIGOT, LEBLANC), p. 171. — Appareillage d'éclairage pour aviation (M. MARSAT, le colonel RENARD, MM. LEBLANC, FRANCK, BRANDT, BENARD, COUVREUX), p. 174. — Note de M. BENARD, p. 194. — Note de M. BLONDEL, p. 203.

3e Section : Sommaire, p. 213 — Les fours d'électrochimie (MM. GENKIN, DARRIEUS), p. 213. — La fabrication du carbure de calcium et de la cyanamide (MM. BUNET, DARRIEUS), p. 215. — Utilisation des fours électriques dans la fonderie des alliages et des métaux non ferreux (MM. MARIES, VUIGNER, GUTMANN, CORDIER, Etablissement MARECHALL), p. 218. — Le potentiel de décharge et les sels complexes (M. LEVASSEUR), p. 224. — L'accumulateur Ironclad (MM. JUMAU, GASQUET, GIRAULT,) p 224. — Note de M. FERY sur la théorie de l'accumulateur au plomb (MM. JUMAU, BICHET,) p. 228 — Installations électrolytiques d'hydrogène en vue d'utiliser au maximum la puissance d'une centrale électrique (M. BUNET), p. 229. — ERRATA, p. 230.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Digitized by Google

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS :

1° Principales décisions du Bureau en janvier 1927.
a) Commission de propagande, p. 231.
b) Voyage dans les Mines du Nord, p. 231.
c) Attribution de legs, p. 231.
d) Annuaire, p. 232.

2° Principales décisions du Comité en février 1927.
a) Attribution de la Médaille MASCART, p. 232.
b) Bourse FRANTZ HUEBER, p. 232.
c) Délégués au Comité Électrotechnique, p. 232.

3° Programme provisoire de la 6e Assemblée Plénière de la C. E. I. en septembre 1927, p. 232.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 234 ; texte p. 234.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 241.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 244.

IL Y A TRENTE ANS, p. 247.

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

REUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du samedi 5 février 1927

Présidence de M. FABRY

La séance est ouverte à 16 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Baule (Alfred-Marie-Emile), officier de Marine, chef du Bureau des Instruments de Navigation, 5, rue Alexis-Fourcault, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Bethenod et Carlini.

Boulouvard (Jean), élève à l'E.S.E., 69, rue Caulaincourt, à Paris (18e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Chenevier (Jean), élève à l'E.S.E., 127, rue de Sèvres, à Paris (15)e. — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Descourt (Maurice-Georges), ingénieur A. M., élève à l'E.S.E., 19, rue Chanzy, à Paris (11e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Filmont (Félix-Eugène-Ernest), élève à l'E.S.E., 210, rue de la Croix-Nivert, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Fiora (Marcel-Etienne-André), élève à l'E.S.E., 51, rue Bayen, à Paris (17e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gago de Camara de Medeiros (José), ingénieur des Arts et Manufactures de Gand, élève à l'E.S.E., 33, boulevard du Montparnasse, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Gotchiguian (Khorène), élève à l'E.S.E., 19, rue Champollion, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lambert (Henri-Jacques-Marc), élève à l'E.S.E., 195, rue de Vaugirard, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Laudouze (Robert-François-Octave), élève à l'E.S.E., avenue Jean-Jaurès, à Saint-Junien (Haute-Vienne). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lavaysse (Jean), ingénieur civil des Ponts et Chaussées, élève à l'E.S.E., 4, rue Gabrielle, à Charenton (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lefas (Georges-Emmanuel), élève à l'E.S.E., 21, avenue de Tourville, à Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lefèvre (Jean-Henry), élève à l'E.S.E., 84, boulevard des Batignolles, Square Monceau, à Paris (17e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lesbordes (Robert-Gabriel), ingénieur A. et M., élève à l'E.S.E., 28, rue Lecourbe, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Maheas (Albert-Jean-Marie), membre du Syndicat professionnel des ingénieurs électriciens, élève à l'E.S.E., 21, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Martin (Lucien-Jean-Augustin), élève à l'E.S.E., 49, rue de Montmorency, à Paris (3e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Digitized by Google

Merles (Antoine-Jean), élève à l'E.S.E., 36, rue des Bernardins, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Natesa Ayyar (Periagarini), membre de l'Association suisse des Electriciens et de l'Associazione Elettrotecnica Italiana, Asst Engineer ; Hydro-Electric Department Madras Government (P.W.D.) Madras (South-India) ; Gopalapuram Cathedral Post Madras (South-India). — Présenté par MM. Schwarberg et Dubortret

Perrin (Gabriel-Henri), ingénieur à la Compagnie française Thomson-Houston, 31, rue Saint-Sébastien, à Paris (11e). — Présenté par MM. Kriéger et Girault.

Tilloy (André-Henri-Antoine), ingénieur I.E.G., licencié ès sciences, ingénieur aux Services électriques de la Société générale d'Entreprises. — Présenté par MM. Duval et Lebaupin.

Vannier (Maurice-Georges-Louis), ingénieur à la Société parisienne pour l'Industrie des Chemins de fer électriques, 75, boulevard Haussmann. Domicile : 166 *bis*, avenue de Rosny, Le Perreux (Seine). — Présenté par MM. Walter et Brare.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président remercie MM. Janet et Guilbert du concours si efficace qu'ils apportent au recrutement de la Société, en la faisant connaître de leurs élèves.

Il fait part du décès de M. Millot Georges, et il adresse à sa famille les vives condoléances de la Société.

Il annonce que MM. Hueber et Regnault ont bien voulu faire un don de 30 000 francs à la Société. Il leur exprime sa plus vive reconnaissance.

Il remercie aussi la Maison Westu, qui a fait don au Laboratoire Central d'un wattmètre de précision.

Il rappelle que le Comité a, le 19 décembre 1923, créé en souvenir de Mascart fondateur de la Société, de l'Ecole supérieure et du Laboratoire Central, une médaille qui doit être attribuée, tous les trois ans, à un savant ou à un ingénieur français ou étranger qui se sera distingué par un ensemble de travaux sur l'électricité pure ou appliquée.

Cette médaille a été attribuée, pour la première fois, le 27 février 1924, à M. André Blondel, notre Président d'honneur.

Pour l'attribution de 1927, il a été fait appel aux Sociétés et Comités électrotechniques de l'étranger. Le plus grand nombre ont répondu en proposant le nom d'un savant ou d'un ingénieur célèbre.

Le plus illustre des candidats proposés a paru au Comité être Sir J.-J. Thomson, Professeur à l'Université de Cambridge, qui peut être considéré comme le fondateur des théories modernes sur la constitution de l'atome. Ces théories, établies sans aucune préoccupation d'ordre industriel, sont néanmoins appelées à avoir une très importante répercussion dans le domaine des applications pratiques. Sir

Digitized by Google

J.-J. THOMSON a étudié, entre autres phénomènes, le passage de la décharge électrique à travers les gaz, à propos duquel Maurice LEBLANC disait il y a vingt ans : « Il semble que l'électrodynamique et l'électromagnétisme classiques aient maintenant donné tout ce qu'on pouvait en attendre : on pourra en tirer de nouvelles applications, on ne pourra leur ouvrir de voies nouvelles ; mais dans le passage de la décharge à travers les gaz raréfiés on aperçoit des applications encore inconnues ». Chacun sait comment, depuis, ces applications se sont développées. Sir J.-J. THOMSON a été un de ceux qui les ont rendues possibles ; c'est donc remplir pleinement le vœu des fondateurs de la médaille MASCART, que de l'attribuer à ce grand savant qui a fait aussi œuvre de grand ingénieur.

M. le Président adresse ses remerciements à Miss BROWNE qui a très gracieusement ouvert, le matin même, à la Société Française des Electriciens, les portes de l'Exposition Internationale du caoutchouc, dont elle est Commissaire général. Ceux d'entre nous qui ont pu prendre part à cette visite y ont trouvé un très vif intérêt.

M. le Président remercie aussi très vivement M. PARODI, Directeur honoraire des services électriques de la Compagnie du chemin de fer à Paris à Orléans et M. LACOIN, Ingénieur en Chef du matériel et de la traction à la même Compagnie, qui ont bien voulu autoriser les membres de la Section de traction, à circuler sur les automotrices entre Paris et Orléans, pour visiter les nouvelles installations.

L'ordre du jour appelant les communications techniques, M. FABRY cède la présidence à M. Maurice LEBLANC et présente un exposé d'ensemble sur la mesure des radiations, montrant les progrès accomplis depuis l'époque où l'œil était seul employé pour ces mesures jusqu'à maintenant où des appareils enregistreurs permettent d'évaluer exactement la puissance propagée par une onde de longueur donnée.

M. Maurice LEBLANC le remercie en ces termes :

« Je remercierai en votre nom M. FABRY de la si intéressante conférence qu'il vient de faire devant vous, sur un sujet auquel il a consacré son activité scientifique et dans lequel il a fait accomplir à la science de très importants progrès. Comme nous le savions tous déjà, M. FABRY a le rare mérite d'être à la fois un grand savant et un conférencier parfait, et d'exposer les questions scientifiques d'une ma-

Digitized by Google

nière si claire et si attachante que l'écouter est un plaisir toujours trop court. »

M. JANET s'associe à l'hommage rendu au conférencier ; il tient toutefois à rappeler les travaux de MOUTON qui, il y a quarante ans, à l'aide de piles thermo-électriques, avait recherché la distribution de l'énergie dans le spectre visible de la lumière Drummond. Il rappelle également à propos de la pression exercée par les radiations lumineuses, les expériences qu'un Anglais avait effectuées à la fin du XVIII[e] siècle, pour évaluer, par les variations de hauteur de la colonne barométrique, l'énergie sonore rayonnée par les cloches de Sainte-Gudule.

M. PARODI expose les résultats techniques et économiques obtenus par l'électrification des voies entre Paris et Orléans, et il montre les principales dispositions prises pour l'aménagement de la chute d'Eguzon.

M. le Président félicite M. PARODI du succès complet qui a couronné ses conceptions, et il profite de cette occasion pour le remercier de l'extrême obligeance avec laquelle il a organisé, pour les membres de la Société française des Electriciens et pour leurs hôtes, des visites techniques du plus haut intérêt.

M. LAPORTE donne quelques renseignements techniques complémentaires sur les travaux du barrage d'Eguzon.

M. PARODI tient à ajouter que la presque totalité des études faites pour l'établissement de ce barrage, l'ont été par M. LAPORTE.

M. GIRAULT ayant demandé à reporter l'exposé de sa communication à la séance de mars, la séance est levée à 18 h. 40.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

UTILISATION DES CABLES TÉLÉPHONIQUES POUR LES COMMUNICATIONS INTERURBAINES A GRANDE DISTANCE [1]

Caractéristiques et constitution des câbles téléphoniques à grande distance. — Fabrication et installation des câbles téléphoniques. — Le réseau de câbles français et le câble Paris-Strasbourg-Bâle.

par M. G. VIARD, *Directeur Général de la Société Anonyme* « Lignes Télégraphiques et Téléphoniques ».

INTRODUCTION. — *Les câbles téléphoniques pupinisés munis de relais amplificateurs sont actuellement le moyen normalement employé pour la réalisation des circuits télégraphiques et téléphoniques à grande distance.*

Nous n'insisterons pas sur la nécessité des câbles interurbains, cette nécessité est, aujourd'hui, universellement reconnue L'exposé du développement historique de la technique des câbles pupinisés ayant déjà été fait devant vous (2), *nous pourrons nous borner à vous parler de l'état actuel de cette technique.*

Nous vous donnerons les caractéristiques actuelles des câbles à grande distance et nous soulignerons les difficultés rencontrées au cours de la construction et de l'installation de ces câbles. Nous prendrons comme illustration de cet exposé, le câble Paris-Strasbourg-Bâle, mais en indiquant toutefois, les progrès réalisés dans les autres câbles construits ou étudiés après lui On ne parlera que des difficultés inhérentes à la réalisation des communications interurbaines à très grande distance, et non pas des communications suburbaines ou à petite distance qui elles aussi, peuvent utiliser des câbles pupinisés pour lesquels on peut d'ailleurs adopter des spécifications et des modes de construction différents.

A. — CARACTÉRISTIQUES DES CABLES A GRANDE DISTANCE.

Les qualités que l'on exige d'un câble téléphonique à grande distance sont :

une bonne intelligibilité pour les conversations, quelles que soient les distances ;

(1) Cette communication a été présentée à la réunion de la Société Française de Electriciens le 18 janvier 1927

(2) L. Cahen. — Les progrès et l'état actuel de la technique des Lignes pupinisées. — Bulletin de la Société Française des Electriciens, 4e série, volume n° 38. — Août-Septembre-Octobre 1924.

Digitized by Google

un service sûr et permanent ;
des délais d'attente réduits ;
une exploitation et un entretien faciles ;
un rendement financier satisfaisant.

Enfin, de même que pour les autres moyens de communication, les câbles télégraphiques et téléphoniques à grande distance devront pouvoir concourir, en cas de besoin, à la *Défense nationale*, et cette considération n'a pas été perdue de vue pour l'établissement du réseau français.

I. — *Caractéristiques mécaniques.*

Les communications de plusieurs centaines, et même de plusieurs milliers de kilomètres, ne peuvent être réalisées qu'*avec des câbles*, *les lignes aériennes* étant trop exposées aux perturbations atmosphériques et à l'influence des lignes d'énergie. Ces câbles peuvent être aériens ou souterrains. Les câbles souterrains peuvent être : soit tirés dans des conduites, soit armés et placés directement dans le sol. En Europe, on a adopté, d'une façon presque exclusive, le câble souterrain armé posé le long des grandes routes. Le câble souterrain est complètement à l'abri des perturbations atmosphériques ; il est d'un entretien facile et d'une plus longue durée que le câble aérien ; il ne nuit pas à la beauté du paysage, il est moins exposé que le câble aérien aux actes de sabotage ou de malveillance et, en temps de guerre, il est moins vulnérable aux projectiles lancés par les avions.

Armure. — L'armure est destinée, non seulement à assurer la *protection mécanique du câble*, mais également à servir d'*écran protecteur* contre l'influence nuisible des courants industriels.

La meilleure protection contre l'induction électromagnétique des lignes d'énergie est assurée par une armure en feuillard. L'armure en fil de fer, plus facile à réaliser, n'offre pas les mêmes garanties.

Mais, pour servir efficacement d'écran électromagnétique, l'armure doit posséder une *continuité électrique parfaite*. Cela entraîne des précautions spéciales pendant la fabrication et au cours de la pose.

Signalons également que, grâce à sa continuité électrique, l'armure canalise les courants vagabonds et protège l'enveloppe du câble contre l'électrolyse.

Enveloppe de plomb. — L'enveloppe d'un câble destiné à être placé directement dans le sol doit :

Digitized by Google

1° assurer une protection absolue du câble contre l'humidité ;

2° résister aux divers agents de corrosion ;

3° être assez rigide pour supporter sans se déformer les efforts subis, soit lors de l'application de l'armure, soit au cours des opérations de pose.

Le plomb pur, trop mou, se déforme très facilement. De plus, le plomb pur est sujet au phénomène de la corrosion intercristalline sous l'effet de vibrations, telles qu'il s'en produit sur les ponts ou sur les routes dures soumises à un fort trafic automobile.

L'alliage plomb-antimoine résiste bien aux déformations et aux vibrations, mais il est plus sujet aux autres corrosions que le plomb pur.

L'alliage plomb-étain échappe à toutes ces critiques, mais son prix de revient est plus élevé ; la préparation de l'alliage est délicate et son utilisation demande des soins particuliers et exige des presses puissantes.

II. — *Caractéristiques électriques.*

Pour être économiques, les câbles interurbains doivent, sous un faible diamètre, renfermer un grand nombre de conducteurs. On augmente de moitié le nombre des communications en utilisant la « *combinaison* » qui procure trois communications avec deux paires de conducteurs.

Télégraphie. — Pour les mêmes raisons que pour les communications téléphoniques, on a été amené à mettre en câble les communications télégraphiques à grande distance. Dans un but d'économie, on a placé ces communications télégraphiques dans le même câble que les communications téléphoniques. Pour cela, plusieurs solutions sont possibles : la plus ancienne, celle qui a été adoptée pour le câble Paris-Strasbourg, prévoit pour la télégraphie des *circuits spéciaux*, non pupinisés, placés sous un écran métallique.

Actuellement, pour obtenir plus de souplesse dans l'utilisation des circuits du câble, on équipe tous les circuits avec des bobines Pupin et des amplificateurs, de telle sorte qu'ils sont *interchangeables* et tous utilisables en cas de besoin pour la téléphonie. Les communications télégraphiques sont réalisées, ou bien par l'utilisation simultanée d'un même circuit pour la télégraphie et la téléphonie, ou bien

Digitized by Google

par l'utilisation de courants de fréquences téléphoniques pour la télégraphie.

Dans la télégraphie et la téléphonie simultanées, on réserve les fréquences les plus basses (de 0 à 300, par exemple) pour la télégraphie, et les fréquences supérieures à 300 pour la téléphonie. L'emploi de ce procédé entraîne l'obligation :

1° d'utiliser des relais, retransmetteur et récepteur, extrêmement sensibles ;

2° de relayer mécaniquement les courants télégraphiques au moins tous les 150 kilomètres.

Ces difficultés sont évitées par l'emploi de la *télégraphie harmonique*. Un circuit spécialisé pour la téiégraphie harmonique ne se distingue d'un circuit téléphonique ordinaire que par les équipements terminaux. Dans les stations de relais intermédiaires, il n'exige ni appareils, ni entretien spécial. Sur un même circuit avec charge moyenne, on peut obtenir facilement *six voies* télégraphiques, chacune de ces voies pouvant être desservie par les appareils rapides utilisés normalement. C'est l'emploi de la télégraphie harmonique qui a été prévu pour les câbles français commandés récemment, en particulier pour le câble Paris-Lyon-Marseille.

Intelligibilité. — La valeur d'un système de transmission téléphonique commerciale est caractérisée par son aptitude à transmettre les paroles. Cette aptitude peut être caractérisée par ce que l'on appelle « l'intelligibilité syllabique » du système de transmission.

L'affaiblissement seul ne peut servir à caractériser une conversation. Sur un long circuit en câble pupinisé, muni de relais, il est très possible qu'une communication dont l'affaiblissement à 800 p : s ne dépasse pas 1,5 ne permette pas l'échange facile des conversations par suite d'une distorsion trop grande. L'étude en *régime permanent* et la mesure de l'affaiblissement *à une seule fréquence* ne peuvent plus suffire pour caractériser un circuit.

L'intelligibilité sur un long circuit en câble dépend du *volume de son* reçu, de la *distorsion*, des *bruits parasites*. C'est pour cette raison que le C. C. I. a donné des valeurs limites pour ces trois quantités qui ne sont d'ailleurs pas indépendantes.

Volume de son. — On conserve un volume de son suffisant en utilisant des bobines Pupin qui atténuent l'affaiblissement du câble pour

Digitized by Google

une certaine bande de fréquences et au moyen d'amplificateurs qui compensent les pertes d'énergie subies au cours de la transmission. On va voir que l'on ne peut, à son gré, augmenter le volume de son, ni en augmentant le degré de pupinisation, ni en augmentant l'amplification.

. *Distorsion.* — On distingue généralement deux sortes de distorsion : la distorsion dite « linéaire » et la distorsion dite « non linéaire ».

La *distorsion linéaire* est caractérisée par le fait qu'un son ne contenant qu'une seule fréquence est seulement affaibli, et par le fait que l'affaiblissement n'est pas le même pour les sons de toutes les fréquences.

La *distorsion non linéaire* est caractérisée par le fait qu'elle introduit des fréquences étrangères lors de la transmission d'un signal qui ne contient qu'une seule fréquence. Comme cette distorsion ne peut se *corriger* facilement, on s'efforce de l'*éviter* en choisissant convenablement les matériaux qui entrent dans la constitution des bobines Pupin et des transformateurs et en ne surchargeant pas les lampes triodes.

La cause la plus grave de distorsion linéaire est la pupinisation. On sait qu'un câble pupinisé se comporte comme un « filtre passe-bas » et qu'il a un affaiblissement infini pour les fréquences au delà de la fréquence de coupure.

Pour un *affaiblissement* donné à 800 p : s, un circuit coûtera d'autant plus cher qu'il aura une fréquence de coupure plus élevée et, pour cette raison, on choisira la *fréquence de coupure la plus basse* compatible avec une bonne intelligibilité. On a vu précédemment que, sur les circuits appropriés à la télégraphie, les fréquences les plus basses ne sont pas non plus transmises. Un tel circuit sera donc un véritable *filtre de bande.*

Même dans la zone des fréquences transmises, l'affaiblissement du câble pupinisé croît sensiblement avec la fréquence et cela d'autant plus qu'on se rapproche de la fréquence de coupure.

En dehors de la constitution de la ligne, cette distorsion est due en partie aux variations des caractéristiques des bobines Pupin avec la fréquence. On s'efforce de réduire ces variations par un choix judicieux des matériaux et des procédés de fabrication. Cependant, malgré ces précautions, il subsiste une distorsion importante qui di-

Digitized by Google

minuerait beaucoup l'intelligibilité s'il n'était pas possible de la corriger par d'autres moyens.

Antidistorsion. — On peut, sinon annuler, du moins compenser dans une large mesure la distorsion linéaire au moyen des amplificateurs.

Par une construction judicieuse des transformateurs et par l'utilisation de combinaisons de réactances et de capacités, on arrive à ce que le gain des amplificateurs compense, pour chaque fréquence, l'affaiblissement dû au tronçon de câble qui précède l'amplificateur. C'est ce que l'on appelle réaliser « l'antidistorsion ».

Sur le câble Paris-Strasbourg on a réalisé l'antidistorsion uniquement sur les circuits à quatre fils, les circuits à deux fils n'ayant pas

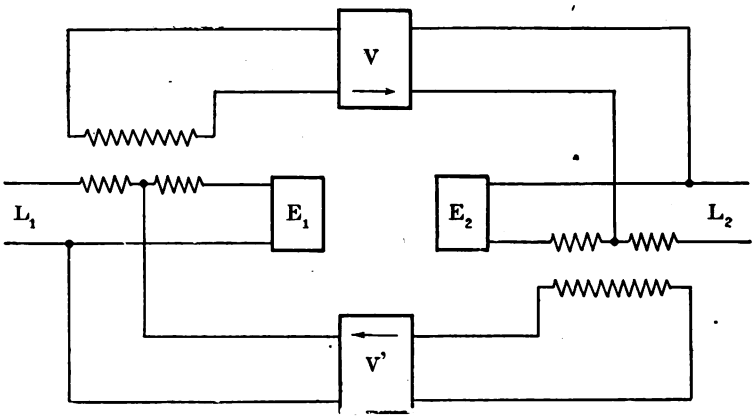


Fig. 1. — Schéma simplifié d'un amplificateur à 2 fils.

été employés pour des distances supérieures à Paris-Nancy. Les câbles construits depuis, ont été équipés avec des relais réalisant l'antidistorsion sur les circuits à quatre fils et sur les circuits à deux fils, de sorte que les circuits de ce dernier type ont pu être utilisés sur des distances atteignant 500 kilomètres ; Paris-Londres par exemple sera une communication à deux fils.

Distorsion par réaction. — Dans les circuits à deux fils intervient une autre cause de distorsion due au montage des amplificateurs. C'est la distorsion par réaction. On sait que, pour obtenir une transmission réversible avec les lampes triodes, on a dû associer chacun des circuits aboutissant à un relais à deux fils, à une sorte de montage en pont de Wheatstone (figure 1).

Digitized by Google

Les deux triodes v et v' sont dans les diagonales de ces ponts de Wheatstone et l'équilibre est réalisé au moyen de réseaux d'équilibre E_1 et E_2, dont les impédances doivent être égales à celles des circuits réels L_1 et L_2 *pour toutes les fréquences transmises par le relais.*

Si cet équilibre n'est pas réalisé, il se produit des courants de déséquilibre et les deux diagonales dans lesquelles sont les triodes ne sont plus électriquement indépendantes. Il existe alors, entre l'entrée d'une triode et la sortie de l'autre, un couplage analogue au couplage par réaction utilisé en T. S. F. Les courants de réaction, variables en intensité et en phase avec la fréquence, viendront s'ajouter aux composantes du courant initial et produiront suivant les cas : tantôt un renforcement, tantôt une diminution de ces composantes. Il se produit ainsi de la « distorsion par réaction ». Si les déséquilibres entre les circuits et leurs réseaux d'équilibre devenaient trop grands, il y aurait même amorçage d'oscillations permanentes. Pour éviter l'amorçage d'oscillations et même la distorsion par réaction, on reste toujours notablement au-dessous de l'amplification qui produit, *pour l'équilibre réalisé*, l'auto-excitation de l'amplificateur. On appelle cette amplification le « point d'amorçage ». S'il y a plusieurs relais à deux fils embrochés sur une même ligne, les courants de réaction, produits dans chaque amplificateur, se combineront pour abaisser le point d'amorçage.

On voit comment le déséquilibre inévitable entre un circuit et son réseau d'équilibre limite l'amplification dans les relais à deux fils.

Il est donc indispensable, si l'on veut utiliser les circuits à deux fils, qui sont les plus économiques, de construire le câble de telle sorte que l'impédance des circuits puisse être reproduite avec une grande fidélité par un réseau d'équilibre simple. Cela n'est possible que si les caractéristiques électriques du circuit (capacité par section de charge, perditance, inductance des bobines) sont parfaitement *uniformes*. Tout manque d'uniformité se traduit sur la courbe « impédance-fréquence » du circuit par des ondulations qu'il est impossible de reproduire avec un réseau simple.

Il faut aussi que ces caractéristiques soient *stables*, c'est-à-dire qu'elles ne varient ni avec le temps, ni avec la température, ni avec l'intensité des courants utilisés ; cette stabilité est surtout difficile à réaliser pour les bobines Pupin.

Enfin, même avec un câble chargé ayant des circuits uniformes, il devient très difficile de reproduire l'impédance pour les fréquences

Digitized by Google

voisines de la fréquence de coupure f_0. On évite cette difficulté en ne transmettant pas les fréquences supérieures à f_t ; f_t n'étant qu'une fraction de f_0. Par exemple, pour un circuit à pupinisation moyenne, $f_0 = 2\,800$ et on prend $f_t = 2\,200$. La suppression des fréquences supérieures est réalisée au moyen de filtres passe-bas ou de réseaux de réactances convenablement disposés.

Circuits à 4 fils. — Lorsque le nombre des amplificateurs à 2 *fils*, embrochés sur un circuit à charge moyenne atteint 5 ou 6, les difficultés techniques qu'il faut surmonter pour conserver une qualité de transmission suffisante font penser qu'au delà il devient plus pratique

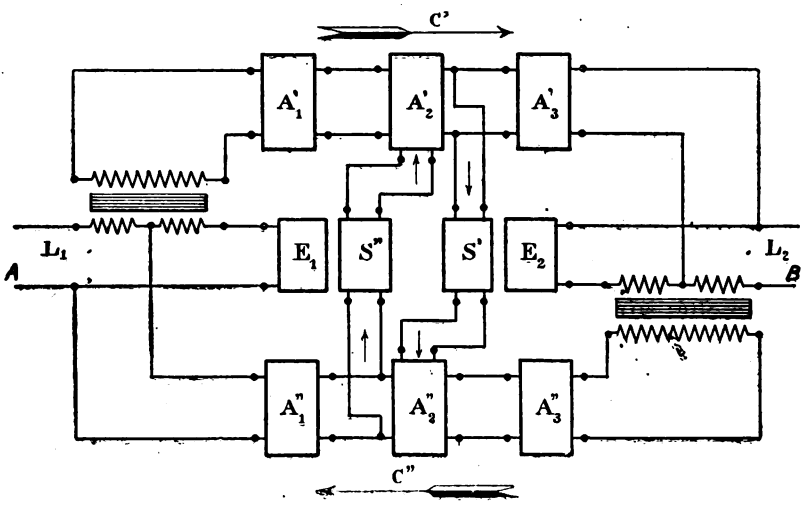


Fig. 2. — Schéma simplifié d'un circuit à 4 fils avec étouffeur d'écho.

d'employer des circuits à *4 fils*. On sait qu'un circuit à 4 fils (fig. 2) est une communication téléphonique utilisant deux circuits *c' et c''* (réels ou fantômes) entre les stations de relais terminales A et B. L'un des circuits *c'* est utilisé pour la transmission de A vers B, l'autre *c''* pour la transmission de B vers A. Sur *c'* sont embrochés des amplificateurs A'_1, A'_2, A'_3... sur *c''* des amplificateurs A''_1, A''_2, A''_3... qui n'amplifient que dans une seule direction et n'ont plus besoin de réseaux d'équilibre. Ces réseaux d'équilibre E_1, E_2 sont reportés aux extrémités A et B du circuit, où, pour des raisons d'exploitation, on est obligé d'utiliser les circuits à 2 fils L_1 et L_2 du réseau ordinaire.

Phénomènes d'écho. — Dans les circuits à quatre fils, les courants de déséquilibre ne se produisent plus qu'aux extrémités A et B et l'am-

Digitized by Google

plification de chaque relais devient indépendante du nombre des relais. Mais ces courants de déséquilibre interviennent encore pour diminuer l'intelligibilité de la communication. Supposons que le circuit AB soit un circuit avec charge moyenne de 1 000 km de long ; un son émis en A parviendra en B au bout de 1/16 de seconde par la voie c'. Le courant de déséquilibre qui se produit en B reviendra vers A, par la voie c'', 1/8 de seconde après que le son a été émis, d'une façon analogue à l'écho produit par des ondes sonores émises en A qui se réfléchiraient sur un obstacle distant d'une vingtaine de mètres. Les échos sont d'autant plus gênants qu'ils sont plus intenses et qu'ils se manifestent plus longtemps après le son principal.

On peut réduire l'intensité de l'écho :

1° en diminuant l'amplification sur le circuit, mais on est vite limité dans cette voie si l'on veut conserver un volume suffisant ;

2° en diminuant les déséquilibres entre les lignes à deux fils L_1 et L_2 et leurs réseaux d'équilibre, mais cette solution est très compliquée, car les lignes à deux fils, raccordées à un même circuit à quatre fils, peuvent être très différentes (lignes d'abonnés de différentes longueurs, circuits aériens, circuits interurbains en câble chargé ou non chargé et il est impossible d'avoir un réseau d'équilibre spécial pour chacun de ces circuits.

Pour réduire le *retard de l'écho*, il faut augmenter la vitesse de propagation en diminuant l'inductance des bobines Pupin, mais cela entraîne une dépense supplémentaire en cuivre ou en amplificateurs pour conserver le même affaiblissement sur le circuit.

Etouffeurs d'écho. — Pour des raisons pratiques et économiques, on a été amené a utiliser des *étouffeurs d'écho* qui permettent d'utiliser seulement un équilibre approximatif des lignes terminales, de conserver un faible affaiblissement sur le circuit à quatre fils et d'employer un degré de pupinisation aussi élevé que le permettent d'autres phénomènes perturbateurs appelés « phénomènes transitoires » que nous examinerons par la suite. Les étouffeurs d'écho sont maintenant utilisés normalement.

Sur le câble Paris-Strasbourg, où les plus longs circuits à quatre fils avec charge moyenne n'ont pas plus de 5 à 600 km, il n'a pas été installé d'étouffeurs d'écho. Mais ces appareils sont prévus pour le câble Paris-Lyon-Marseille.

Phénomènes transitoires. — D'autres phénomènes également liés

Digitized by Google

à la vitesse de propagation obligent, malgré la suppression possible de l'écho, à utiliser un faible degré de pupinisation sur les très longs circuits : ce sont les phénomènes transitoires.

Lorsqu'on envoie un signal d'une seule pulsation ω, il s'écoule un certain temps t_1, appelé *période transitoire*, entre le moment où l'effet du signal commence à se faire sentir à l'extrémité réceptrice et le moment où le régime permanent est atteint. Pendant la période transitoire, les courants reçus n'ont pas la pulsation ω. Une période transitoire de même durée existe à la fin du signal. Il en résulte de la distorsion.

t_1 est donné par la formule

$$t_1 = \frac{2l}{\omega_0 s}\left[\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} - 1\right] \qquad (1)$$

l = longueur du circuit ;

s = longueur d'une section de pupinisation ;

ω = pulsation du signal transmis ;

ω_0 = pulsation de coupure qui dépend de la pupinisation.

On reconnaît, en examinant l'équation (1), que pour une pulsation donnée et un degré de pupinisation donné, t est proportionnel à la longueur du circuit.

Pour une longueur donnée, t_1 est d'autant plus grand que ω s'approche plus de ω_0 ; pour la pulsation de coupure, t_1 tend vers l'infini : le régime permanent ne serait jamais atteint.

Si, comme c'est le cas pour des conversations téléphoniques, on envoie une onde complexe, le phénomène se complique par le fait que les différentes fréquences n'atteignent pas en même temps leur régime permanent.

La nécessité d'équilibrer les circuits à deux fils nous a obligés précédemment à n'utiliser qu'une fraction de la bande des fréquences transmises par le câble ; de même, les phénomènes transitoires nous obligent, sur les circuits à quatre fils ou à deux fils, à limiter supérieurement la bande transmise à une pulsation ω_1 telle que $\frac{\omega_1}{\omega_0}$ soit d'autant plus petit que le circuit sera plus long.

On étudie actuellement des dispositifs (*compensateurs de phase*) pour atténuer les phénomènes transitoires. Ces études, qui ont déjà donné des résultats encourageants, n'ont pas encore permis d'établir d'appareils vraiment industriels.

Digitized by Google

Actuellement, on n'a d'autre ressource pratique que d'adopter des pupinisations légères pour diminuer les phénomènes transitoires sur les très longs circuits.

Influence des bruits parasites. — Nous examinerons seulement les bruits perturbateurs dus à la coexistence, dans le même câble, d'un grand nombre de circuits (diaphonie) et les bruits résultant du voisinage des courants industriels.

Diaphonie. — On dit qu'il existe de la diaphonie entre deux circuits I et II (fig. 3) si de la puissance électrique étant envoyée dans le circuit perturbateur I, une partie de cette puissance est reçue sur le circuit perturbé II.

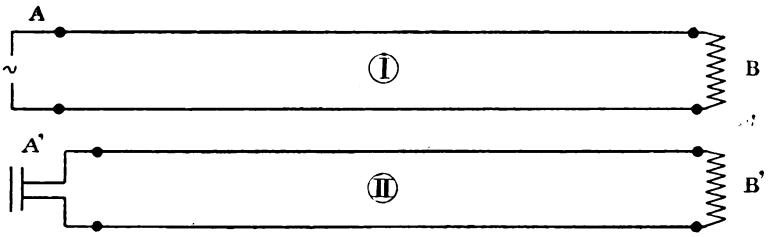


Fig. 3 — Diaphonie entre 2 circuits.

Le câble, les bobines Pupin, les relais amplificateurs peuvent être des sources de diaphonie.

Dans le *câble*, la diaphonie est causée principalement :

1° par les déséquilibres de résistance entre les deux fils d'une même paire ; ce déséquilibre n'intervient que si l'on fait usage des circuits fantômes ;

2° par les couplages électromagnétiques : ces couplages sont rendus très faibles lors de la construction par un choix judicieux des pas de câblage ;

3° par des couplages électrostatiques. — Entre les quatre fils d'une quarte et les autres quartes réunies à l'enveloppe, on peut imaginer (fig. 4) un réseau de 10 capacités élémentaires qui doivent être parfaitement équilibrées à la *construction* et à la *pose* si l'on veut éviter

Digitized by Google

la diaphonie entre les circuits d'une même quarte. Les déséquilibres de capacité sont une source de diaphonie, même lorsque le circuit fantôme n'est pas utilisé.

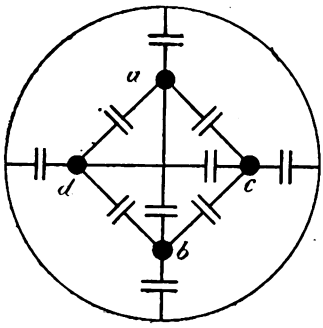


Fig. 4. — Capacités élémentaires entre les 4 fils d'une quarte.

Dans les *bobines Pupin* comme dans le câble, les déséquilibres d'impédance ou de capacité sont des sources de diaphonie.

Les stations de *relais amplificateurs* augmentent la diaphonie par leurs câblages qui peuvent difficilement être équilibrés aussi soigneusement que le câble proprement dit.

Cas particulier des circuits à quatre fils. — Sur les circuits à quatre fils, il existe une très grande différence entre les tensions des courants affaiblis qui entrent dans une station de relais et les courants amplifiés qui sortent de cette même station. Pour éviter la diaphonie élevée qui pourrait résulter de cette différence de tension, on sépare en *deux groupes* distincts les circuits qui transmettent dans *deux sens différents* et l'on maintient cette séparation dans le câble, dans les boîtes de bobines Pupin et dans le câblage des stations de relais.

De plus, la perte de transmission entre deux amplificateurs successifs ne devra pas descendre au-dessous d'une certaine limite qui dépendra de la diaphonie tolérée.

Influence des courants industriels. — Les courants industriels peuvent produire des bruits perturbateurs lorsqu'ils renferment des harmoniques de fréquence audible. Pour réduire ces influences nuisibles, il est indispensable d'équilibrer, par rapport à la terre, les capacités des circuits du câble et des bobines. Dans certains cas excep-

Digitized by Google

tionnels, par exemple en cas de dérangement simultané sur le réseau d'énergie et sur le câble, il peut se produire des tensions dangereuses pour le personnel et pour le matériel. Pour parer à ce danger, les circuits du câble, au lieu d'arriver directement au répartiteur et à un panneau de jacks d'essai, aboutissent à une tête de câble bien isolée ; de là ils passent à travers des transformateurs de combinaison à haut isolement et à rigidité diélectrique élevée ; le secondaire du transformateur relié aux câblages intérieurs a son point milieu mis à la terre. De cette façon, le personnel d'exploitation est à l'abri des tensions dangereuses qui pourraient se produire sur le câble à la faveur d'un défaut. Cette disposition a été adoptée pour les câbles Paris-Boulogne et Paris-Lyon.

III. — *Nécessités économiques. — Standardisation.*

Etant données des valeurs convenablement choisies pour la *bande de fréquences* à transmettre, *la distorsion* admissible dans cette bande, l'*affaiblissement résultant* pour une fréquence moyenne, *les valeurs limites des phénomènes transitoires et d'écho*, les valeurs limites de la *diaphonie* et des tensions induites, on peut être assuré d'une bonne communication commerciale. Des valeurs limites ont été recommandées par le C. C. I. pour toutes ces grandeurs.

Partant de ces données, on pourrait chercher, pour chaque circuit, la solution la plus économique : on serait ainsi conduit à prendre des conducteurs de différents calibres, des longueurs de sections différentes, des bobines d'inductances différentes, des types de relais différents, suivant la longueur des circuits placés dans un même câble. On voit que cette manière de faire est pratiquement irréalisable. On pourrait également chercher la solution la plus économique pour *l'ensemble d'un câble*, mais là encore on se heurterait à de grosses difficultés, car un câble n'est pas un tout qui peut être *considéré isolément*. Il doit être traité comme une partie *d'un réseau auquel* il doit s'adapter harmonieusement. Les circuits d'un câble doivent pouvoir être réunis aux circuits d'autres câbles et ils doivent pouvoir changer facilement d'utilisation suivant les nécessités du trafic. On aperçoit immédiatement la nécessité d'une standardisation. Les facilités d'exploitation, d'entretien, d'extension rendent cette standardisation indispensable pour tous les câbles faisant partie d'un

Digitized by Google

même réseau. Cette standardisation doit même être européenne pour que les câbles interurbains des différents pays puissent être facilement interconnectés. Le C. C. I. a été créé pour élaborer cette normalisation. En fait, cette normalisation était réalisée avant les réunions du C. C. I, dans les deux pays qui possèdent les réseaux de câbles les plus étendus : l'Amérique et l'Allemagne. Les types adoptés dans ces deux pays étaient si voisins que le C. C. I. a pu les adopter simultanément sous le nom de types I et II, et que des câbles de types I et II peuvent être réunis sans grosses difficultés aux stations de relais.

Les deux types ont les caractéristiques suivantes :

On utilise seulement : *deux calibres* de conducteurs, une *distance unique* entre points de pupinisation, deux types d'unité de pupinisation (charge moyenne et charge légère), *une distance unique entre stations de relais*. Les calibres, les degrés de charge et l'espacement des stations de relais ont été combinés de telle façon que la distance entre deux stations de relais consécutives corresponde à l'affaiblissement admissible sur les circuits de petit calibre avec charge moyenne sans relais; les circuits à deux fils de petit calibre avec charge moyenne et les circuits à quatre fils de petit calibre avec charge légère sont amplifiés dans toutes les stations; les circuits à deux fils de gros calibre avec charge moyenne et les circuits à quatre fils de petit calibre avec charge moyenne sont amplifiés dans une station sur deux.

L'Administration française a, pour les câbles Paris-Strasbourg, Paris-Londres, Paris-Lyon, adopté les caractéristiques du type n° 1.

Les caractéristiques de ce type sont les suivantes :

Diamètre des conducteurs en mm	Circuits à deux fils	1,3
	Circuits à quatre fils	0,9
Longueur des sections en m		1 830
Inductance des bobines de charge en henrys	Charge légère; réel	0,044
	Charge moyenne; réel ..	0,177
Fréquence de coupure en périodes par seconde	Charge moyenne ; réel	2 900
	Charge légère ; réel	5 800

Distance des stations de relais : 75 km environ.

Les circuits avec charge moyenne sont utilisés jusque vers 800 km.

Les circuits avec charge légère au delà.

Les circuits fantômes ont une charge qui leur donne le même *affaiblissement* qu'aux circuits réels, mais une *fréquence de coupure plus*

Digitized by Google

élevée, de sorte qu'avec deux types de charge seulement, on obtient quatre fréquences de coupure, ce qui permet une meilleure utilisation des qualités des circuits sans dépense supplémentaire. Sur le câble Paris-Strasbourg, un type de charge moyenne plus ancien (177/106) a été utilisé; ce type de charge réalise un affaiblissement plus faible sur le circuit fantôme, mais, par contre, ce circuit a la même fréquence de coupure que le circuit réel.

B. — Fabrication du cable.

Examen des matières premières. — Pour obtenir des caractéristiques électriques uniformes, il est d'abord indispensable d'utiliser des matières premières, fils de cuivre et papier, ayant des propriétés mécaniques et électriques uniformes. Ces propriétés doivent être soigneusement vérifiées avant la mise en œuvre des fils de cuivre et du papier.

Isolation. — Chaque conducteur est isolé au moyen d'un ruban de papier enroulé en spirale.

Formation des paires et des quartes. — Les conducteurs isolés ou « fils » sont ensuite réunis deux à deux au moyen d'un filin de coton coloré. Les deux fils d'une paire sont torsadés ensemble et, pour le câble à paires combinables, deux paires sont torsadées pour former une quarte. Les pas de torsion sont déterminés de façon à éviter la diaphonie entre les différents circuits d'une quarte et entre les circuits de quartes voisines.

Distinction des paires et des quartes. — Pour les nécessités de la fabrication, de la pose et de l'entretien, il est seulement indispensable d'avoir des signes distinctifs pour les différents groupes, d'où l'emploi, pour lier les fils d'une paire, de filins de coton de différentes couleurs. Les quartes sont des unités mécaniques qui s'isolent facilement et, dans une même quarte les deux paires, liées chacune avec un filin de coton, se séparent sans difficulté. Pour des nécessités de statistique, on a été amené à pouvoir retrouver aisément, sur les longueurs de câble fabriquées, une quarte bien déterminée uniquement par l'examen de la coupe du câble et dans cette quarte, à distinguer l'une de l'autre les deux paires, et même les deux fils d'une paire. Ce

Digitized by Google

repérage supplémentaire est obtenu en utilisant des papiers diversement colorés pour l'isolation des conducteurs.

Câblage. — Les quartes sont câblées pour constituer l'âme du câble.

Le câble Paris-Selestat a été câblé de la façon suivante :

au centre une couche de 3 quartes de conducteurs de 1,3 mm ;

puis une couche de 9 quartes de conducteurs de 1,3 mm ;

autour de ces douze quartes destinées à la télégraphie est enroulé un ruban d'aluminium servant d'écran.

Extérieurement à l'écran se trouvent successivement :

1 couche de 16 quartes de 1,3 mm ;
1 couche de 30 quartes de 0,9 mm ;
1 couche de 36 quartes de 0,9 mm.

soit au total : 94 quartes dont :

28 de ..... 1,3 mm.
66 de ..... 0,9 mm.

Les quartes téléphoniques sont divisées en trois groupes distingués par la couleur du coton qui entoure les paires.

1° le groupe blanc qui comprend les seize quartes de 1,3 mm qui sont destinées aux circuits à deux fils ;

2° le groupe rouge qui contient la moitié des quartes de 0,9 mm qui sont destinées aux circuits à quatre fils transmettant dans une direction ;

3° le groupe vert qui contient les quartes de 0,9 mm destinées à la transmission à quatre fils dans l'autre direction.

Les groupes rouge et vert sont diamétralement opposés.

L'âme du câble ainsi câblée est entourée de rubans de papier et de coton qui assurent l'isolement et la rigidité diélectrique entre l'âme et l'enveloppe de plomb.

Mise sous plomb. — Le câble desséché est entouré, au moyen de presses à plomb puissantes, d'une enveloppe d'un alliage de plomb et d'*étain*.

Toutes les longueurs fabriquées sont essayées dans l'eau et sous pression.

Armure. — Les câbles destinés à être placés dans le sol, c'est-à-dire l'immense majorité des longueurs fabriquées, sont munis d'une armure. Cette armure est constituée essentiellement par deux feuillards d'acier d'environ un millimètre d'épaisseur.

Digitized by Google

Deux couches de jute, imprégné d'un compound spécial, sont appliquées, d'une part entre l'enveloppe de plomb et les feuillards, et, d'autre part, par-dessus l'enveloppe.

L'imprégnation du jute a une importance capitale pour la bonne conservation du câble.

Essais électriques. — On procède à des essais électriques en courant continu et en courant de fréquence téléphonique sur chaque longueur après la mise sous plomb, puis après l'armure.

Ces deux séries de mesure portent en particulier sur les points suivants :

continuité des circuits ;

résistance et déséquilibre de résistance des conducteurs ;

rigidité diélectrique ;

résistance d'isolement ;

capacité mutuelle en courant continu ;

capacité mutuelle et perditance en courant de fréquence téléphonique ;

déséquilibre de capacité entre fils ;

déséquilibre de capacité des circuits par rapport à la terre.

Il est d'une importance primordiale d'obtenir en usine des câbles ayant de faibles déséquilibres de capacité, aussi bien entre fils qu'entre circuits et la terre.

De faibles déséquilibres en usine permettent d'utiliser les *longueurs maxima* qui peuvent être facilement manipulées par les équipes de pose. De cette façon, on évite les épissures faites *uniquement en vue de réduire les déséquilibres*. De plus, l'entretien peut se faire rapidement et sans personnel spécialisé, car on peut sans inconvénient remplacer une longueur devenue défectueuse *sans faire aucune mesure*.

Expédition. — Pour obtenir une uniformité encore plus grande des sections de pupinisation, *on choisit*, d'après leurs caractéristiques électriques, les huit longueurs destinées à constituer une même section de pupinisation (environ 1 830 m de câble).

C. — Installation du cable.

Tracé du câble Paris-Strasbourg. — Le tracé adopté permet de placer dans un même câble de Paris à Selestat les circuits destinés à Stras-

Digitized by Google

bourg et au delà, et les circuits destinés à Colmar, Mulhouse, Bâle et la Suisse.

La distance de Paris à Selestat par Châlons, Nancy, Saint-Dié, est de *450* km. Il y a *44* km de Selestat à Strasbourg et *93* km de Selestat à Bâle.

Entre Paris et Selestat, le câble contient 376 conducteurs (112 de 1,3 mm ; 264 de 0,9 mm).

Entre Strasbourg et Mulhouse, 284 conducteurs (116 de 1,3 mm ; 168 de 0,9 mm).

Entre Mulhouse et Bâle, 180 conducteurs (76 de 1,3 mm et 104 de 0,9 mm).

Piquetage. — Un piquetage très précis a été nécessaire pour déterminer les emplacements des points de pupinisation.

Pose du câble. — Pour transporter et manipuler les bobines de câble d'un poids considérable et cela sans déformer le câble, il a fallu créer un matériel spécial de transport et de pose.

Le long des routes, suivant les circonstances, le câble est déroulé ou posé avec précaution sur le fond, soigneusement nivelé, d'une tranchée de *0,60* m à *0,80* m de profondeur.

Dans les *villes*, le câble est tiré dans des conduites de ciment, en particulier dans la région de Nancy.

Aux traversées spéciales (routes, chemins de fer) le câble est protégé par des *fers Zorès* ou des *tuyaux en fonte*.

Epissures. — Les huit longueurs de câble de 230 m environ constituant une section de charge sont réunies au moyen de sept épissures.

Ces épissures sont faites de façon à assurer :
la continuité des conducteurs ;
la continuité de l'isolation ;
la continuité de l'écran ;
la continuité de l'enveloppe de plomb ;
la continuité électrique de l'armure ;
la continuité de la protection mécanique.

Il est inutile de construire une chambre en maçonnerie pour protéger l'épissure, le coffret de jonction qui entoure l'épissure étant parfaitement suffisant.

Digitized by Google

Essais et mesures. — Malgré tout le soin apporté à la fabrication, il subsiste de petits déséquilibres de capacité entre les conducteurs et entre les conducteurs et la terre. On profite de l'exécution des épissures pour compenser systématiquement les uns par les autres les déséquilibres des longueurs adjacentes.

Les déséquilibres sont d'abord mesurés au moyen d'un pont de Wheatstone en courant alternatif.

On choisit, dans deux longueurs adjacentes, deux quartes d'un même groupe ayant des déséquilibres sensiblement de même valeur absolue et on adopte le mode de jonction qui donne aux deux déséquilibres des signes contraires pour que ces deux déséquilibres se compensent après épissure.

Mesures de fin de section. — Lorsque les 8 longueurs ont été réunies, on effectue une série de mesures en courant continu et en courant de fréquence téléphonique ; on mesure notamment :
la continuité électrique des paires et des quartes ;
la résistance des conducteurs ;
les déséquilibres de résistance ;
la résistance d'isolement ;
les capacités mutuelles des circuits ;
les déséquilibres de résistance entre conducteurs ;
les déséquilibres des circuits par rapport à la terre.

Ces mesures permettent de vérifier le travail effectué et d'établir des statistiques.

D. — Pupinisation.

Les sections de câble équilibrées et vérifiées sont alors pupinisées.

Fabrication des bobines Pupin. — La fabrication des bobines Pupin est plus délicate et demande un contrôle encore plus minutieux que la fabrication du câble. Les matières premières à vérifier sont plus nombreuses ainsi que les opérations élémentaires. Il nous est malheureusement impossible, faute de temps, d'examiner en détail cette fabrication des plus intéressantes.

Sur le câble Paris-Strasbourg, on a fait usage d'unités de charge comportant 3 bobines (2 pour les circuits réels, 1 pour le circuit fantôme). Ces bobines n'étaient pas munies de capots individuels. Pour le câble Paris-Boulogne, construit plus récemment, on a utilisé des

Digitized by Google

unités de charge comportant *4 bobines* (2 pour les circuits réels, 2 pour le circuit fantôme), chaque bobine étant enfermée dans un capot en zinc rempli de compound isolant.

Bien que les unités à 3 bobines et les unités à 4 bobines soient théoriquement équivalentes, les unités à 4 bobines offrent plusieurs avantages pratiques ; elles sont d'un bobinage plus facile, ce qui permet une fabrication plus précise et par conséquent des caractéristiques plus uniformes et un meilleur équilibrage entre les deux conducteurs d'une paire.

Le fait d'utiliser des noyaux séparés pour les deux moitiés d'un circuit fantôme, diminue les couplages électromagnétiques et électrostatiques, et permet, notamment, d'abaisser la diaphonie entre les circuits réels. Les capots soigneusement mis à la terre jouent le rôle d'écran et contribuent également à diminuer la diaphonie.

Mise en boîte. — Les bobines groupées par « unités » sont placées dans des boîtes en fonte, étanches, qui jouent pour les bobines le rôle de l'enveloppe pour les quartes du câble.

De chaque boîte en fonte part un câble de raccordement sous plomb qui permet de relier le câble armé aux bobines.

Installation des boîtes de bobines en un point de charge. — Les câbles de raccordement ne sont pas armés, d'où la nécessité, faute d'une protection mécanique suffisante, de placer les boîtes de bobines dans des chambres en maçonnerie. Ces chambres, à cause de leurs grandes dimensions (2,80 m de profondeur, 1,50 m de large, 4 m de long) sont d'une exécution longue et coûteuse. Elles entraînent des abatages d'arbres et nécessitent le long des routes ou dans les villes des terrassements importants qui sont une source de difficultés avec les services de Voirie.

On adopte maintenant un type de boîte avec raccordement entièrement protégé qui permet d'éviter la construction des chambres.

Essais de fin de tronçon. — De nouveaux essais sont effectués sur l'ensemble d'un tronçon pupinisé entre deux stations de relais.

Ces essais ont pour but :

1° de vérifier les qualités électriques du câble chargé ;

2° de fournir les données nécessaires au réglage des relais amplificateurs.

Digitized by Google

E. — Relais amplificateurs.

Des stations de relais du câble Paris-Strasbourg-Bâle ont été installées à Paris, Viels-Maisons, Châlons, Stainville, Saint-Dié, Strasbourg, Colmar.

En principe, les grands circuits internationaux destinés à être prolongés en dehors du câble vers l'Angleterre ou l'Europe centrale sont à 4 fils de 0,9 mm avec charge légère et sont amplifiés dans toutes les stations.

Les circuits de 350 à 600 km environ sont à 4 fils de 0,9 mm avec charge *moyenne* et sont amplifiés dans une station sur deux.

Les circuits d'une longueur inférieure à 350 km sont à 2 fils de 1,3 mm avec charge moyenne et amplifiés dans une station sur deux.

Les amplificateurs à 2 fils sont à *un seul étage* d'amplification, les amplificateurs à *4 fils à 2 étages*, ce qui exige 2 *types de triodes* par amplificateur. Pour le câble Paris-Lyon, on a réussi à obtenir une amplification suffisante avec un seul étage d'amplification. On réalise ainsi une économie importante de matériel et de courant et on peut n'utiliser *qu'un type unique de triode* dans les stations de relais. L'alimentation en énergie des relais amplificateurs exige une installation importante, surtout lorsque l'on ne dispose pas de l'énergie électrique du secteur.

Comme pour les autres parties de l'équipement du câble, des perfectionnements ont été réalisés depuis l'installation des stations de relais du câble Paris-Strasbourg. Quelques-uns de ces perfectionnements relatifs à la technique ont déjà été signalés (*antidistorsion* sur les circuits à 2 fils, *1 seul étage* d'amplification, *tête de câble à haut isolement*). On s'est efforcé en outre de rendre l'exploitation plus simple et plus sûre et l'entretien plus facile en supprimant tous les *organes qui ne sont pas indispensables*, en normalisant le plus possible la disposition des stations, en groupant *logiquement les organes de façon à simplifier les câblages et à faciliter la surveillance*.

F. — Résultats obtenus.

Les essais de réception ont montré que le câble Paris-Strasbourg non seulement remplissait toutes les conditions techniques prévues lors de l'étude, mais pouvait se comparer aux meilleurs câbles américains ou européens.

Digitized by Google

Le câble Paris-Strasbourg a été la première réalisation du vaste programme de réseau de câbles télégraphiques et téléphoniques interurbains approuvé par le Parlement en 1923. Ce projet comportait, en première urgence, les câbles Paris-Strasbourg-Bâle, Nancy-Metz, Paris-Rouen-Le Havre, Paris-Lille, Paris-Boulogne-Londres, Paris-Lyon-Marseille.

En deuxième urgence, il prévoyait les câbles Paris-Limoges-Bordeaux-Toulouse et Paris-Nantes.

Pour compléter ce réseau rayonnant autour de Paris, il serait indispensable de prévoir quelques câbles *transversaux réunissant* ces rayons. Les nécessités de la Défense Nationale exigent aussi impérieusement que l'on puisse disposer de plusieurs itinéraires pour communiquer entre deux centres importants. Les Allemands ont un réseau à mailles de plus de 6 000 km, tandis que la France n'a actuellement en service que le câble Paris-Strasbourg (500 km) et le câble Paris-Rouen-Le Havre (200 km).

Le câble Paris-Strasbourg-Bâle n'*atteindra son plein rendement* qu'après avoir été raccordé au vaste réseau français projeté, et même au réseau européen dont il est seulement une partie. Le câble Paris-Strasbourg-Bâle n'est, en effet, qu'un élément de l'immense artère transeuropéenne allant de Glasgow aux Balkans par Londres, Boulogne, Paris, Strasbourg, Munich, Vienne, Budapest. De Glasgow à Budapest, cette artère est déjà ou construite ou en construction. Par le prolongement Nancy, Metz et la Sarre, le câble Paris-Strasbourg servira aux relations avec l'*Allemagne du Nord*. Provisoirement quelques communications ont été réalisées entre Paris et *Berlin par Strasbourg*. Le câble Nancy-Metz servira également à drainer les communications entre la Belgique, d'une part, la Suisse et l'Italie d'autre part, viâ Selestat et Bâle.

Dès maintenant l'exploitation du câble Paris-Strasbourg se fait dans des conditions économiques des *plus encourageantes*. Le nombre des communications entre Paris et les grandes villes de l'Est, depuis qu'elles s'effectuent dans de bonnes conditions d'intelligibilité et de délai, *dépasse les prévisions qui ont servi à l'établissement du câble*.

Les résultats techniques obtenus sur le câble Paris-Strasbourg, permettent de constater que *l'industrie française est dès maintenant capable de faire aussi bien que les industries étrangères* dans le domaine des câbles à grande distance comme dans les autres domaines de la technique téléphonique.

Digitized by Google

INSTALLATIONS EXÉCUTÉES PAR LA SOCIÉTÉ D'ÉTUDES POUR LIAISONS TÉLÉPHONIQUES ET TÉLÉGRAPHIQUES A LONGUE DISTANCE

par M. Louis CAHEN, *Directeur de la Société.*

La communication de M. Viard, relative au câble Paris Strasbourg, contenant un exposé très complet de la technique des câbles à longue distance, la communication ci-dessous est surtout consacrée à la description des installations exécutées par la Société d'Etudes pour Liaisons Téléphoniques et Télégraphiques à longue distance (S. E. L. T.) : câbles Paris Ste-Assise ; Lyon-St-Etienne ; Paris-Le Havre. Ce dernier, long de plus de 200 km, est le seul des trois qui comporte des stations amplificatrices et des circuits montés suivant le système dit à quatre fils. Mis en service en septembre 1926, quelques mois après le câble Paris-Strasbourg, il permet aujourd'hui la communication par câble entre Le Hâvre et Bâle, soit 800 km. Le fonctionnement satisfaisant de circuits de cette longueur montre que les Sociétés françaises constituées pour cet objet spécial peuvent être comparées, sans infériorité, aux Sociétés étrangères.

Le programme de pose des câbles téléphoniques à longue distance, élaboré en 1922 par l'Administration des P. T. T., comportait un développement d'environ 3 500 km, dont un peu plus de 2 000 en première urgence correspondant aux câbles suivants :

Paris-Sélestat-Strasbourg-Bâle (600 km) ;
Paris-Rouen-Le Hâvre (210 km) ;
Paris-Lille (Bruxelles) (230 km) ;
Paris-Boulogne (Londres) (200 km) ;
Paris-Lyon-Marseille (800 km).

Le câble Paris-Rouen-Le Hâvre et le câble Paris-Lille ont été commandés, l'un en mai 1924, l'autre en février 1925, à la Société d'Etudes pour liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance (S. E. L. T.), fondée en 1920 par les trois Maisons bien connues : Société Industrielle des Téléphones ; Etablissements Grammont ; Société Alsacienne de Constructions Mécaniques. Les câbles sont construits dans les usines des 3 Sociétés adhérentes, les boîtes de charge (bobines Pupin) par la Société Alsacienne de Constructions Méca-

Digitized by Google

niques à Clichy, les relais amplificateurs et organes accessoires par la Société Industrielle des Téléphones et les Etablissements Grammont.

La S. E. L. T. se charge elle-même des études d'ensemble, des recherches de laboratoire, de la pose et du raccordement.

Avant d'avoir eu la commande des deux câbles précités, elle avait posé deux autres câbles de moindre importance, mais cependant intéressants pour différents motifs et qui n'ont pas encore fait l'objet de communications devant la Société française des Electriciens.

Le câble Paris-Sainte-Assise, posé en 1921-1922, est destiné à assurer les relations entre le bureau de manipulation de T. S. F. à Paris et l'antenne de Sainte-Assise. En dehors des communications télégraphiques à grande vitesse que comporte ce service, il doit également permettre aux opérateurs des deux stations de communiquer téléphoniquement.

On pouvait craindre, sur cette longueur de 50 km, les troubles produits par influence des communications télégraphiques entre elles, et de ces communications avec les lignes téléphoniques. Aussi, avait-on pensé faire circuler les courants télégraphiques sur le circuit « fantôme » formé par 2 paires de fils, chacune des paires étant réservée aux liaisons téléphoniques : on n'aurait donc pas fait usage de la terre pour le télégraphe et on aurait réduit l'induction grâce au câblage d'ensemble des 2 paires formant la quarte. Les 2 paires étaient chargées par des bobines Pupin de 0,12 espacées de 3 km ; le circuit fantôme n'était pas chargé. Comme le câble comprenait 7 quartes, on prévoyait donc 7 communications télégraphiques et 14 téléphoniques.

En réalité, on a pu parfaitement bien utiliser pour le télégraphe le retour par la terre sur tous les circuits et sans influences gênantes. Cependant, on a réservé une des 7 quartes pour un trafic exclusivement téléphonique, aussi bien sur le fantôme que sur le circuit réel. Ceci a été réalisé en plaçant sur cette quarte 4 bobines unifilaires égales donnant, par point de charge, aux circuits réels, une inductance de 0,12 H et aux circuits fantômes, une inductance de 0,06 H. Ce système de charge présente des avantages d'économie et de simplicité, une distorsion moindre et une faible capacité entre fils. Par contre, comme il est plus sujet à variations sous l'influence du temps et du courant qui circule, il peut accroître la diaphonie. En fait, depuis 5 ans, la quarte en question fonctionne dans de très bonnes

Digitized by Google

conditions. Le câble assure ainsi, toujours sans trouble, malgré le trafic croissant, 12 communications télégraphiques et 15 téléphoniques.

Les influences produites sur les câbles pupinisés par les courants télégraphiques étant bien connues, il est donc intéressant, malgré la longueur relativement courte de la ligne, de signaler le succès de cette réalisation.

Un autre élément d'intérêt du câble consiste dans le fait qu'il est en majeure partie aérien. On sait que les techniciens ont discuté longtemps sur les avantages et les inconvénients de ce genre de lignes. En France, comme dans toute l'Europe d'ailleurs, pour des raisons de

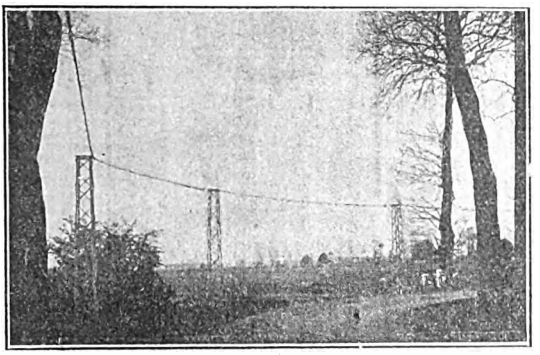


Fig. 1. — Câble aérien de Sainte-Assise.

sécurité, l'Administration des P. T. T. préfère le câble souterrain. Au surplus, pour les très gros câbles, l'avantage économique de la solution aérienne devient-il nul et pour les circuits qui sont appelés à être reliés à des amplificateurs réversibles, les variations de résistance entraînées par les changements de température, compliquent l'installation, en imposant le réglage fréquent des impédances compensatrices. Mais pour des câbles de petit diamètre et ne travaillant pas sur relais à lampes, tel que celui de Sainte-Assise, l'économie est importante et les avantages sont nombreux. Cependant le trajet, par des chemins secondaires, tortueux et exposés au vent, rendait l'établissement onéreux et difficile. Il a fallu de très nombreux pylônes d'angle (fig. 1), la ligne étant sur poteaux de bois en alignement droit (portée 33 m). Le câble télégraphique est suspendu à un câble porteur en acier

Digitized by Google

par des agrafes distantes de 33 cm. Il est en plomb antimonié. Les boîtes de charge sont placées aériennement sur deux poteaux (fig. 2).

Depuis sa pose en 1921-22, les défauts sur le parcours aérien n'ont pas été, par kilomètre, plus nombreux que dans le tronçon souterrain; on a constaté très peu de cristallisations ou attaques du plomb. Une seule fois, la balle d'un chasseur a perforé l'enveloppe. Enfin, le câble porteur donne à la ligne une solidité très grande, de beaucoup supérieure à celle des artères en fil nu, comme l'a montré le cyclône de l'automne 1922 dans la région de Lieusaint ; pas une communica-

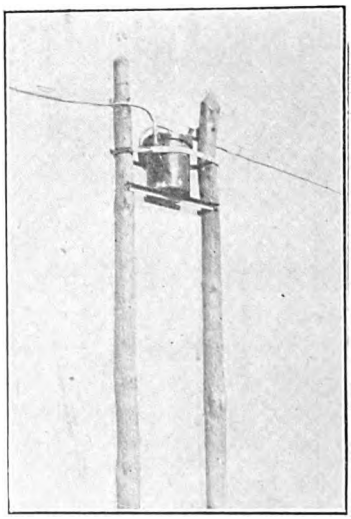


Fig. 2. — Boîte de charge aérienne.

tion n'a été interrompue sur le câble, tandis que l'artère en fils nus voisine, sur voie ferrée, était entièrement renversée. Le câble porteur a pu supporter la chute d'arbres, sans se rompre ni faire rompre les poteaux.

Ajoutons que les défauts, quand ils se produisent, ont, en général, une marche progressive et qu'il est très rare qu'ils arrêtent le trafic avant réparation. Celle-ci est d'ailleurs plus facile sur les parcours aériens que sur les souterrains.

Câble Lyon-Saint-Etienne. — Commandée en décembre 1923 par l'Administration des P. T. T., cette artère, longue de 62 500 m, a été livrée au public en mars 1925. Elle comporte 19 quartes en fil de 1 mm chargées suivant le système normalisé de l'Administration des P.T.T.,

Digitized by Google

à des intervalles de 1 830 m, par des bobines de 0,176 H pour les circuits réels et de 0,104 H pour les circuits fantômes. Ces bobines étaient bifilaires à raison de quatre par circuit. Cependant quatre quartes comportaient une charge unifilaire comme sur le câble Paris-Sainte-Assise.

Le câble est souterrain, sous plomb, et armé au moyen de deux feuillards de 1 mm à sens contraire, posé à 0,80 m de profondeur.

Dans les villes, il a été placé, soit dans des dalles multitubulaires en ciment, quand il y avait lieu d'envisager, pour les besoins locaux, la pose ultérieure d'autres lignes (par exemple à Saint-Etienne-Saint-Chamond-Rive-de-Gier-Lyon), soit sous la protection de grillage ou de briques.

Pour le câble, la S. E. L. T. a fait usage du procédé du croisement systématique dont voici les caractéristiques. On sait que la position dans le câble des fils (voir la communication de M. Viard) et de leurs rubans isolants de papier présente des irrégularités que, malgré tout le soin apporté, il est impossible de faire disparaître complètement : cela se traduit, au point de vue électrique, par des déséquilibres de capacité ou de résistances entre fils et il en résulte, par couplage statique ou électromagnétique, des influences (diaphonie) entre circuits fantômes et réels. Or, dans la construction des usines adhérentes, la S. E. L. T. a constaté que ces déséquilibres, pendant tout le temps que durait l'enroulement du papier autour des fils et des deux fils d'une paire entre eux, étaient à peu près uniformément répartis. Dans ces conditions, on peut, en coupant au milieu la quarte et en croisant, dans chaque paire, les deux fils, réduire à des valeurs extrêmement faibles, d'une part les déséquilibres de résistance, d'autre part ceux des déséquilibres de capacité qui règlent l'influence entre le circuit fantôme et les circuits réels et entre ces derniers et la terre. Cette coupure et ce joint peuvent être faits en usine, soit sur les quartes isolées, soit sur les câbles complets ; ils peuvent l'être aussi en ligne. Le nombre de soudures dépend alors de la longueur qu'on peut enrouler sur un touret et de la méthode suivie pour l'équilibrage en ligne qui doit, autant que possible, être mené d'une façon symétrique ; on peut trouver critiquable de multiplier le nombre de soudures, mais cela permet de donner aux capacités entre fils des circuits (non plus aux déséquilibres qui règlent la diaphonie, mais aux valeurs absolues qui règlent la transmission et l'impédance) une grande régularité et de réduire aussi les déséquilibres des capacités des fantômes par

Digitized by Google

rapport à la terre, déséquilibres qui sont, en général, assez forts, qu'on ne peut guère diminuer si on ne dispose pas d'un nombre suffisant de points de jonction, et qui pourront avoir plus tard un effet fâcheux quand l'électrification des chemins de fer et les lignes à très haute tension se seront généralisées.

Sur le câble Lyon-Saint-Etienne, les longueurs élémentaires sont de 310 m ; elles sont coupées par moitié à 155 m. Cela correspond à douze soudures par section de pupinisation de 1 830 m.

Par ailleurs, le câble Lyon-Saint-Etienne ne présente pas de particularité spéciale. Depuis près de deux ans qu'il est en service, il n'a donné lieu à aucune plainte : le fonctionnement des fantômes est satisfaisant aussi bien pour les circuits unifilaires que pour les autres, bien que les mesures de diaphonie faites au moment de la réception aient donné des valeurs sensiblement plus élevées sur les premiers ; mais on est fort loin des limites pratiques nuisant à l'exploitation et l'impression de « silence » est bien plus grande que sur les circuits aériens.

La pose, dans la région montagneuse de la vallée du Gier et des environs de Saint-Etienne, a été rendue pénible par la présence de nombreux bancs de rochers durs. Elle a pu néanmoins être faite en huit mois environ.

Les boîtes Pupin sont placées dans des chambres souterraines en maçonnerie couvertes par des dalles amovibles.

Pour ce câble, la S. E. L. T. a mis en service des transformateurs terminaux équilibrés, d'un modèle nouveau. En 1926, elle a installé des dispositifs d'impédances équilibrées réalisés par la Société industrielle des Téléphones et permettant l'envoi de courants de signalisation automatique d'appel et de fin sur les circuits Lyon-Saint-Etienne; quoique l'on redoute en général l'emploi du courant continu et la mise à la terre sur les lignes pupinisées à paires combinables, l'exploitation ne donne lieu à aucun incident.

Dpuis deux ans, le nombre de dérangements a été très faible.

Câble Paris-Le-Hâvre. — Ce câble est destiné à assurer les relations de Paris avec Rouen et avec Le Havre et de ces deux villes entre elles.

Comme ces dernières communications sont moins importantes que celles qui font intervenir Paris, la section Paris-Rouen contient plus de fils que la section Rouen-Le Havre.

Les règles adoptées par le Comité Consultatif International, pour les

Digitized by Google

grands câbles, comportent l'emploi de fil de 1,3 mm pour les circuits à deux fils. Mais ici on n'aurait pu utiliser ce câble, pour les communications de Paris avec Rouen sans relais intermédiaire, qu'en acceptant un coefficient d'affaiblissement plus élevé que celui désiré. Au point de vue économique, d'autre part, la réduction du diamètre des fils, pour tous les systèmes de communications présentait l'avantage de diminuer fortement le poids de cuivre, matière importée, et de permettre, avec un câble encore très maniable, de constituer un grand nombre de communications. L'avantage économique était diminué, mais non supprimé, par l'installation nécessaire de deux stations amplificatrices au lieu d'une.

On a donc adopté, au lieu des calibres de 1,3 mm et 0,9 mm, ceux de 1 mm et de 0,9 mm, ces derniers pour les circuits à quatre fils et pour la plus grande partie des circuits Paris-Rouen, les autres pour les communications Paris-Le-Havre et Rouen-Le Havre. Les stations amplificatrices sont situées à Saint-Clair-sur-Epte et à Duclair. La première comporte quatre vingt-huit répéteurs à deux fils (extensibles à deux cents) et trois à quatre fils (extensibles à dix), l'autre, quarante huit répéteurs à deux fils (extensibles à cent-vingt) et trois à quatre fils (extensibles à dix également). Les circuits Paris-Le Havre sont reliés aux deux stations, ceux de Paris à Rouen à la première seulement ; enfin, ceux de Rouen-Le Havre passent à la station de Duclair sans y être amplifiés.

Les deux types de câbles ont respectivement les compositions suivantes :

a) Câble Paris-Rouen : 81 quartes
50 en fil de 10/10^{e} mm
31 (couche extérieure) en fil de 9/10.

b) Câble Rouen-Le Havre : 62 quartes
49 en fil de 10/10
12 en fil de 9/10.

La couche des fils de 9/10 est divisée en quatre parties : deux opposées contiennent les circuits quatre fils et correspondent respectivement aux deux sens de transmission ; les opérations d'équilibrage doivent les laisser distinctes de façon à éviter toute action entre ces deux sens de transmission, ce qui pourrait produire l'entretien d'oscillations; les deux autres parties de cette même couche comprennent des circuits à deux fils et forment en réalité un seul groupe que l'équilibrage peut mélanger.

Digitized by Google

Tracé. — Le câble suit, entre Paris et Rouen, la route Nationale directe par Pontoise et Magny, entre Rouen et Le Havre le chemin de grande communication qui longe la Seine par Duclair, Caudebec et Lillebonne.

Pour ce câble, comme pour celui de Lyon-Saint-Etienne, on a constitué dans les grandes villes traversées, Rouen, Le Havre et aux abords de Paris, des conduites multitubulaires, en ciment goudronné intérieurement. A noter que le câble a été posé armé dans la plus grande partie de ces conduites et que, malgré le goudronnage intérieur qui aurait pu rendre le tuyau collant et la rugosité du câble armé, malgré aussi la raideur de ce câble dont le diamètre n'était que de

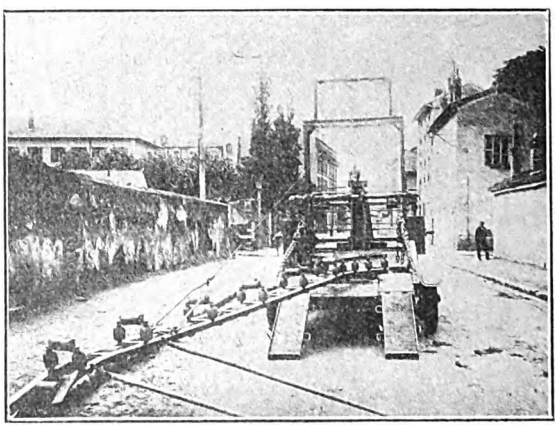


Fig. 3. — Déroulage mécanique (Paris-Le Hâvre).

3 cm inférieur au calibre des tuyaux, le tirage par longueurs de 115 m s'est fait sans difficulté et sans altérer les propriétés électriques des circuits.

Il n'y a eu aucune difficulté spéciale à signaler. Le déroulage sur la plus grande partie du parcours a été faite par des moyens mécaniques (fig. 3).

Bobines Pupin. — Chaque point de charge comprend quatre boîtes, dont, par raison d'économie, l'Administration n'a commandé que la moitié. Pour permettre ultérieurement la pose du reste, on a effectué le raccordement au moyen de pièces de division, en parallèle, qui doivent permettre par suite de charger les paires actuellement en attente, sans obliger à aucune coupure sur les lignes en service. Les deux boîtes

Digitized by Google

actuelles sont placées sur une des deux parois de la chambre quadrangulaire, l'emplacement des deux autres est prévu le long de l'autre paroi (fig. 4).

Toutes les bobines sont à charge dite lourde (comme pour Saint-Etienne). Il n'a pas été fait usage de bobines unifilaires.

Les mesures faites sur les trois tronçons déterminés par les stations de relais ont donné à tous les points de vue des valeurs sensiblement meilleures que les garanties. L'isolement kilométrique est d'environ 20 000 mégohms ; la valeur moyenne de la diaphonie entre circuits fantôme et réels, essayée à la voix, est représentée par l'affaiblissement 8,6 et aucune valeur n'est inférieure à 7,8 Ω alors que le Comité Con-

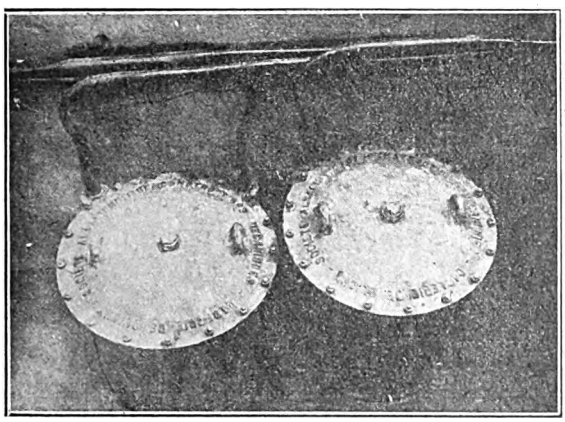


Fig. 4. — Chambre avec bobines Pupin.

sultatif International impose la limite inférieure de 7,5. Ces chiffres sont des unités d'affaiblissement et un nombre b correspond au rapport e^{2b} entre l'énergie émise par le circuit perturbateur et celle reçue sur le circuit perturbé ; 7,5 correspond ainsi à un rapport de 36 000. Enfin, les déséquilibres de résistances entre circuits ne dépassent pas quelques ohms sur plusieurs milliers.

Stations de relais. — Les 2 stations étant situées dans des localités peu importantes, on a dû loger les mécaniciens de l'Administration chargés de l'entretien.

La fig. 5 représente le bâtiment de Duclair situé au bord de la Seine et au pied de la falaise. Toute l'aile de droite est réservée aux logements ; à gauche, un petit corps de bâtiment à rez-de-chaussée

Digitized by Google

contient l'atelier d'énergie consistant en 2 séries de groupes moteurs-générateurs servant, l'un à la charge des accumulateurs pour le fonctionnement des lampes triodes, l'autre à l'envoi de courants d'appel. Chacune des 2 séries comporte un groupe actionné par le courant du secteur et un groupe de secours (essence, pétrole, pour la charge, moteur à courant continu sur accumulateurs pour l'appel) en cas d'arrêt du secteur. La batterie de 22 V de grosse capacité alimente 2 filaments en série et sert également au fonctionnement des électro-aimants qui commandent les signalisations ; enfin, les grilles des lampes sont polarisées négativement par des piles.

Dans les deux stations, les relais sont placés au 1er étage. Le principe

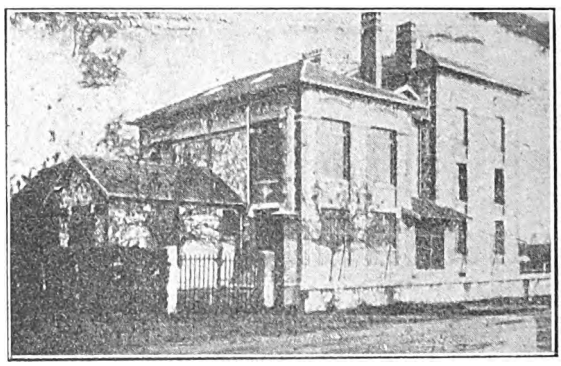


Fig. 5. — Station de relais à Duclair.

de ces appareils est bien connu et les particularités sont surtout relatives aux dispositions adoptées pour les câblages, la répartition des organes, la qualité des matériaux employés. Il faut veiller soigneusement à éviter les couplages parasites par capacités, mélanges ou inductions électromagnétiques entre circuits des relais : car ces influences seraient augmentées par l'effet de l'amplification.

Les relais à deux fils sont munis d'un filtre passe-bas dont la pulsation de coupure est 14 000. Les impédances d'équilibre ont été faites en usine d'après les valeurs calculées ; elles ont été ensuite ajustées sur place très facilement, ce qui montre la régularité des divers circuits.

L'appel est fait au moyen du courant alternatif de basse fréquence produit dans les stations mêmes et envoyé sur la ligne au moyen d'un système de relais électromagnétiques, à la commande du courant de même nature envoyé de l'autre côté du répéteur par la station appelante.

Digitized by Google

Les amplificateurs, pour les communications à quatre fils, sont actuellement utilisés pour les liaisons Havre-Mulhouse, Havre-Epinal, Rouen-Epinal, qui empruntent par suite les deux câbles Paris-Havre et Paris-Strasbourg.

Les courants d'appels sont à 500 p : s interrompues à 20. Ils sont reçus d'abord sur un système détecteur redressant le courant à haute fréquence, puis sur un relais à lame vibrante accordé sur la fréquence de rupture.

Un point extrêmement important est la facilité de signalisation des défauts et de contrôle du bon état des différents organes de la station : lampes triodes, électroaimants, ligne, etc... Il y a donc signalisation

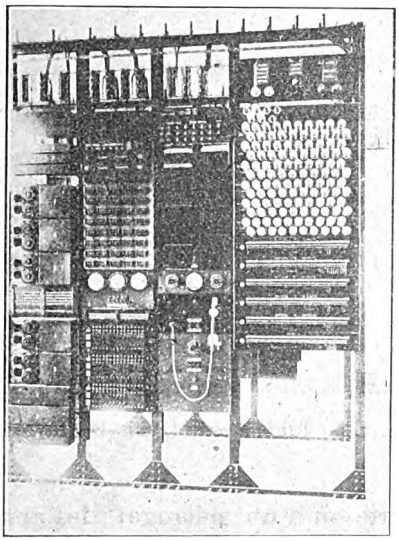


Fig. 6. — Panneau de répéteurs (Paris-Le Hâvre).

automatique par lampes d'un certain nombre de défauts : manque de courant d'alimentation sur la plaque, le filament ou l'appel, etc... et la possibilité de renvoi à une table d'essais des différentes parties des circuits d'amplification. Les panneaux de répéteurs qui sont groupés par 8 contenant chacun 5 appareils, comportent donc un grand nombre de jacks de renvoi, de clefs, de lampes d'alarme, de fusibles (fig. 6).

La table d'essai (fig. 7), à laquelle on renvoie éventuellement les différentes parties de l'installation, permet de faire les mesures très spéciales nécessaires pour le contrôle complet de l'état des organes :

Digitized by Google

un générateur, susceptible d'émettre toutes les fréquences de 300 à 2 500 p : s, sert à la fois pour la mesure des impédances des circuits et des impédances d'équilibre et pour la mesure des gains et des équivalents de transmission, mesure qui s'opère par comparaison des intensités efficaces transmises à travers les répéteurs et sans répéteurs au moyen d'une ligne artificielle compensatrice. L'appareil indicateur d'intensité est un couple thermoélectrique produisant un courant continu dont l'intensité est lue sur un appareil à aiguille visible sur la figure. A ces mesures sous courant de fréquence musicale, s'ajoutent celles sous courant continu plus habituelles (isolement, résistance,

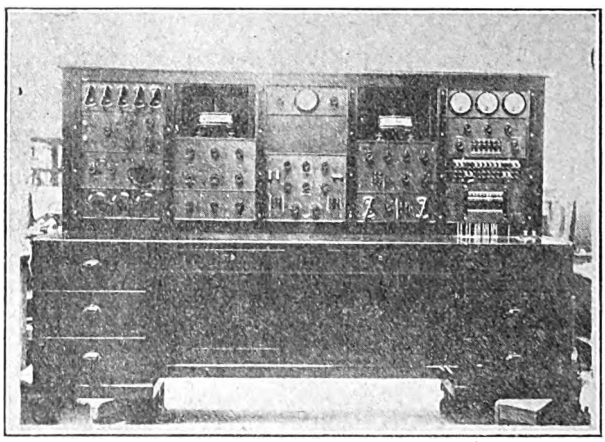


Fig. 7. — Table d'essai (Paris-Le Hâvre).

localisation d'une perte ou d'un mélange) ; les appareils sont visibles sur le côté droit de la figure.

Commandé en mai 1924, le câble, malgré différentes causes de force majeure (grève, non achèvement de travaux de galeries, etc...) a pu être posé, soudé et chargé en juin 1926. Dès juillet, des circuits Rouen-Le Havre ont été mis en service ; en septembre, les communications Paris-Rouen et Paris-Le Havre ont été livrées en nombre suffisant pour réduire à 20 ou 30 mn le délai d'attente à l'heure la plus chargée. Les essais de réception n'étant pas encore terminés, on ne peut donner de détails plus complets ; cependant, on peut indiquer que l'affaiblissement résiduel des communications qui devait, aux termes du cahier des charges, être inférieur à 1,4, a pu être réduit à 0,8 et même 0,6

Digitized by Google

sans que le timbre de la voix soit déformé d'une façon gênante et sans que la diaphonie dépasse les valeurs pratiquement admissibles.

Les deux Sociétés Françaises qui se sont fondées pour répondre à l'appel de l'Administration sont donc entrées toutes deux, en 1926, dans l'ère des résultats. Dès maintenant, notre pays possède 800 km de câbles constituant un matériel d'expériences de premier ordre pour les progrès futurs, matériel qui nous manquait jusqu'alors. Nous pouvons espérer ainsi que la technique française regagnera l'avance prise par l'étranger.

Digitized by Google

SEMAINE DE DISCUSSIONS D'OCTOBRE 1926

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

(Suite)

Séance du mardi 26 octobre 1926.

2e SECTION. — ECLAIRAGE ET CHAUFFAGE

SOMMAIRE :

1° Discussion du rapport de M. WETZEL sur l'utilisation de la lumière dans les appareils d'éclairage public. — M. MAISONNEUVE : appareils Holophane pour l'éclairage public, p. 166. MM. DESARCES, WETZEL, MATIGOT, BRANDT, l'éclairement vertical, p. 167.

2° Discussion du rapport de M. le Docteur COUVREUX sur l'éblouissement visuel. — M. le Docteur COUVREUX : définitions nouvelles des coefficients de visibilité et de perceptibilité, p. 171. M. BLONDIN : définition de l'unité de brillance, p. 171 — MM. MATIGOT, COUVREUX, Maurice LEBLANC : mesure de l'éblouissement, p. 172.

3° Discussion du rapport de M. MARSAT sur les appareils d'éclairage pour aviation. — M MARSAT : appareils construits pour l'aéronavigation par les Établissements SAUTTER-HARLÉ, p 174. MM. le colonel Renard, Maurice LEBLANC, Ingénieur en chef FRANCK, BRANDT, BÉNARD, Docteur COUVREUX : conditions à remplir par les appareils d'aviation, p. 177. — Notes communiquées : M. J. BÉNARD : Comparaison entre les systèmes à optique et les systèmes à miroir, p. 194. — Appareils construits par la maison BARBIER, BÉNARD et TURENNE pour l'aéronavigation, p 198. — M. A. BLONDEL : considérations sur l'établissement des aérophares, p 203.

Présidence de M. M. LEBLANC

M. WETZEL présente son rapport sur *l'utilisation de la lumière dans les appareils d'éclairage public* (1).

M. MAISONNEUVE. — Dans les appareils Holophane dont a parlé M. WETZEL, la verrerie se compose de deux enveloppes s'adaptant l'une dans l'autre ; l'enveloppe interne est munie, sur sa face externe et sur les trois quarts de son pourtour, de prismes réfractants disposés pour obtenir, par déviation convenable des rayons dans le plan vertical, la répartition voulue de la lumière.

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 62, p. 1209).

Digitized by Google

Le quatrième quart est pourvu de prismes horizontaux réfléchissants ; ces prismes horizontaux ont des angles de 90° d'ouverture dont la bissectrice est dirigée parallèlement à la direction suivie dans le verre par les rayons arrivant de la source lumineuse. Ces rayons sont ainsi réfléchis totalement et renvoyés en sens inverse suivant le même trajet, de telle sorte qu'ils tombent sur les prismes réfractants disposés sur la partie opposée de la verrerie, comme s'ils provenaient directement de la source lumineuse. Ils sont donc utilisés complètement et viendront augmenter l'éclairage fourni par cette partie de la verrerie, au détriment de la lumière transmise par le quart de verrerie qui les porte.

On a cependant voulu laisser passer à travers ce quart réfléchissant une certaine partie de la lumière ; pour cela, on a réservé entre les prismes à réflexion totale des bandes prismatiques réfractantes, déviant la lumière dans les plans verticaux, de façon à assurer un éclairement sensiblement uniforme d'une surface verticale.

La verrerie extérieure est pourvue sur sa face interne de cannelures diffusantes verticales, chargées d'uniformiser l'éclat de l'appareil complet dans toutes les directions.

Dans le cas du réfracteur à deux directions asymétriques, ces cannelures sont remplacées par des prismes verticaux, qui ramènent la lumière latéralement dans deux directions principales, situées à 80° de part et d'autre du plan bissecteur du quart réfléchissant.

On obtient avec ces deux appareils des résultats du même genre, c'est-à-dire une augmentation considérable de l'éclairement de la chaussée et un éclairement sensiblement uniforme des façades des maisons ; la partie de la verrerie portant les prismes réfléchissants doit naturellement être tournée du côté des maisons.

M. Desarces. — M. Wetzel a-t-il calculé les éclairements verticaux moyens dans des plans de direction variable ? Pense-t-il que la question mérite d'être étudiée ?

M. Wetzel. — Quand on parle d'éclairement vertical, il faut fixer la direction d'orientation des plans verticaux que l'on considère.

Je crois que, dans le cas de l'éclairage public, les plans verticaux les plus intéressants sont ceux perpendiculaires à l'axe de la voie, puisque le sens général de la circulation est parallèle à cet axe. Si l'on voulait en envisager d'autres, le calcul de l'éclairement moyen de-

Digitized by Google

viendrait beaucoup plus compliqué et je ne crois pas qu'il vaille la peine d'être fait.

On pourrait également calculer l'éclairement moyen des façades des maisons jusqu'à une certaine hauteur. Cela peut présenter un intérêt au point de vue de la visibilité des enseignes des boutiques, des numéros des plaques de rues. Ce calcul peut se faire sur la courbe des flux horizontaux. Il suffit de lire sur cette courbe la valeur du flux compris entre deux angles correspondant à la base des maisons et, par exemple, au premier étage, pour obtenir l'éclairement moyen sur les rez-de-chaussée.

M. LE PRÉSIDENT. — Que devient la répartition des éclairements sur un plan vertical, passant par la ligne des foyers ?

M. WETZEL. — Les variations de l'éclairement dans un tel plan peuvent, dans certains cas, être considérables, lorsque les foyers sont trop écartés. Le problème de la répartition des éclairements dans le sens longitudinal, est tout à fait différent de celui que je viens de traiter. Sous ce rapport, les réfracteurs présentent un grand avantage sur les autres types d'appareils. Je crois me rappeler que cette question a fait l'objet d'une discussion à la deuxième section au cours de l'année dernière.

M. MATIGOT. — Nous avions, M. MARIAGE et moi, conclu que l'éclairement vertical, apprécié en général à 1 m ou 1,50 m du sol, était l'éclairement linéaire horizontal multiplié par la tangente du point considéré. (Lorsqu'on n'a qu'un seul foyer, bien entendu). Lorsque plusieurs sources concourent à l'éclairage au point considéré, il faut additionner les apports de chaque foyer, en tenant compte toutefois des incidences relatives.

$$Ev = \frac{Ie \sin\alpha \cos^2\alpha}{h^2}.$$

La courbe photométrique figure 1 donne la variation de l'éclairement vertical.

D'ailleurs pour l'éclairement vertical, un seul foyer intervient en général. L'éclairage public est réalisé le plus souvent par une disposition axiale ou bien par des appareils mis en bordure du trottoir ou sur consoles aux maisons, disposition en quinconce (pour obtenir le minimum d'ombre).

Le calcul est extrêmement simple, l'éclairement vertical suit une

Digitized by Google

loi bien spéciale. On trouve la même caractéristique et le maximum d'intensité à partir de 45° d'incidence, quelle que soit la répartition lumineuse.

L'éclairement vertical représenté par la courbe *d* (fig. 1) est donné par l'appareil modifiant la répartition *a* de la lampe nue.

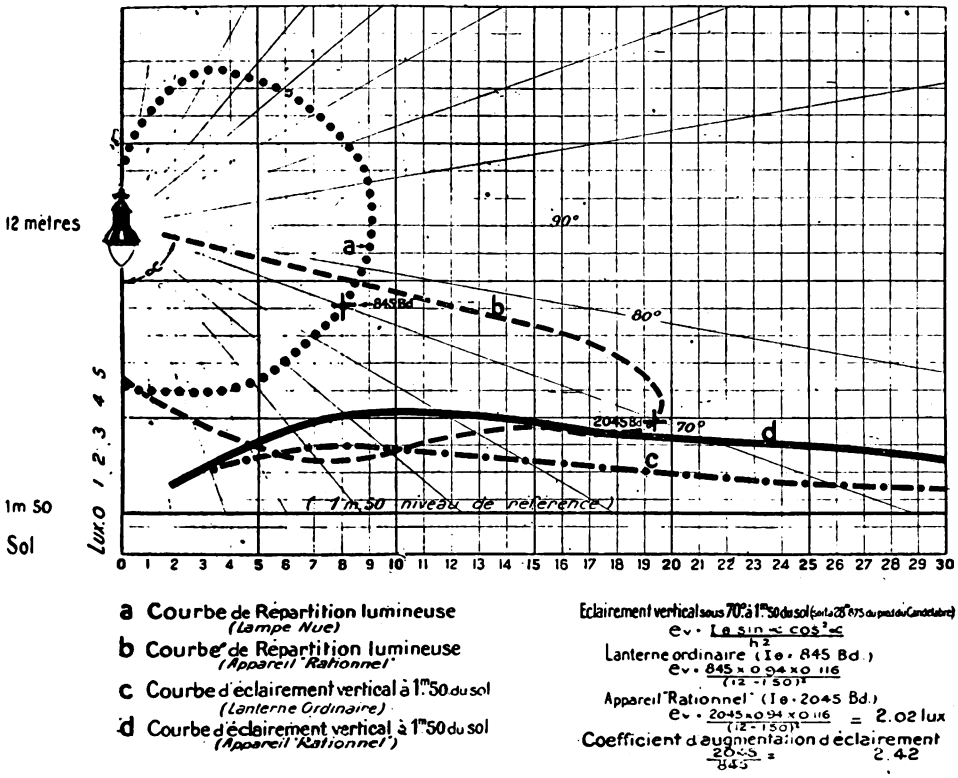


Fig. 1. — Courbe d'éclairement vertical à 1m,50 du sol (par temps sec) ; appareils "Rationnel" type A⁴, avec lampe dite 1000 bougies de 509 watts donnant 807 Bd. Foyer à 12 mètres de hauteur.

A noter que la courbe *c* correspondant à un seul foyer est sensiblement parallèle à la courbe d'éclairement vertical de l'appareil armé. Cette courbe d'éclairement comparé montre qu'un appareil agencé à 12 m de hauteur par exemple, donnera pour l'éclairement vertical mesuré à 1 m 50 du sol, le maximum d'intensité à 45°, soit à 12 m moins 1 m 50 ou 10 m 50 d'éloignement du candélabre. (Pour un

Digitized by Google

foyer ou appareil à 6 m de hauteur, l'éclairement vertical sera maximum à partir de 6 m moins 1 m 50 ou 4 m 50. D'ailleurs M. MARIAGE s'est servi de cette formule qui est très simple.

L'éclairement vertical a été trop négligé dans les réalisations d'éclairage public, comme M. MARIAGE l'a signalé avec raison. Il est souvent beaucoup plus important que l'éclairement horizontal.

M. BRANDT. — Quand la chaussée n'est pas éclairée, les conducteurs y sont habitués et en pleine route les phares permettent de distinguer très nettement les aspérités du sol mais, par le fait, c'est surtout de l'éclairement vertical.

La solution de M. MARIAGE fournit d'ailleurs un moyen élémentaire pour transformer la valeur de l'éclairement horizontal, en éclairement vertical.

M. WETZEL. — Oui, mais à condition de n'envisager qu'un seul foyer.

M. BRANDT. — C'est une question d'expérimentation, un seul foyer intervenant principalement dans l'éclairement vertical.

M. MATIGOT. — Pour deux candélabres (éloignés par exemple de 60 mètres), la courbe de l'éclairement vertical pour le premier appareil commence à partir de 0 m et il faut y ajouter l'éclairement donné à 60 mètres par l'appareil voisin, mais à 60 mètres, je crois que l'éclairement est pratiquement nul.

M. BRANDT. — Cela revient à ajouter à une valeur principale quelques fractions infinitésimales.

M. WETZEL. — Il me semble que la forme de calcul que j'ai indiquée est extrêmement simple et toujours exacte.

M. MATIGOT. — La formule que nous avions déterminée, avec M. MARIAGE, avait l'avantage de faire comprendre au service des Ponts et Chaussées que la hauteur de feux intervient considérablement pour l'éclairement vertical. Un éclairement linéaire horizontal de 10 lux peut donner, par exemple, à peine un lux ou deux lux d'éclairement vertical si l'on s'écarte des proportions convenables.

M. WETZEL. — On peut étudier la hauteur par le calcul. Son intervention est bien mise en évidence par la courbe que je viens de présenter.

M. MATIGOT. — Cette courbe montre très nettement que l'éclairement vertical est pour ainsi dire nul au pied du lampadaire et maximum à 45°.

Digitized by Google

Nous étions d'accord avec M. EXELMANS.

Quant aux parois des maisons, elles n'interviennent que pour quelques décimales.

Cette question de l'éclairement vertical a une grande importance pour déterminer la hauteur optima de fixation des feux, hauteur qui est un peu plus grande que celle adoptée en général.

M. BRANDT. — Les réfracteurs sont légèrement diffusants par leurs surfaces. Il est donc nécessaire de placer les réfracteurs plus hauts que beaucoup d'appareils à miroirs métalliques, masquant l'éclat de la source.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous devons savoir gré à M. WETZEL de ses travaux. Trop souvent on se dispense de calculer les éclairements, ce qui entraîne des déceptions.

M. le Dr COUVREUX *présente son rapport sur l'éblouissement visuel* (1).

M. GROSSELIN. — M. le Dr COUVREUX nous a indiqué pour la valeur du coefficient de visibilité une expression contenant en dénominateur la différence de brillance entre l'objet et le fond. Quand cette différence est nulle, le coefficient devient donc infini. N'y aurait-il pas lieu de substituer à ce coefficient son inverse ?

M. le Dr COUVREUX. — Il y a là, en effet, un paradoxe. Je proposerais de prendre l'inverse du coefficient et de l'appeler simplement contraste. Il est évident que, si deux plages contiguës ont, l'une la brillance E_0 et l'autre la brillance E_1, on peut appeler contraste la différence.

$$\frac{E_1 - E_0}{E_1}.$$

Seulement, dans ce cas, il faudrait spécifier que le dénominateur correspond à la brillance la plus grande. C'est ce que les physiologistes oublient parfois de faire. De même pour le coefficient de perceptibilité, il y aurait lieu de prendre son inverse et de l'appeler seuil relatif. Les lois deviendraient ainsi très claires.

M. BLONDIN. — Je voulais faire observer que l'emploi du lambert

(1) Bulletin de la Société française des électriciens, 4e Série, Tome VI, n° 60, août 1926, p. 854.

Digitized by Google

comme unité de brillance a été condamné, avec raison, par M. André Blondel dans le magistral rapport qu'il présenta en 1924 à la session de Genève de la Commission internationale de l'Eclairage.

On lit, en effet, dans ce rapport : « Pour les motifs qui précèdent, le lambert est une création complètement *hérétique* au point de vue des règles de définition de la physique générale et qui se heurtera, par conséquent, toujours à une opposition irréductible des physiciens ».

Il conviendrait donc que, dans les revues techniques françaises, on s'abstint de propager l'emploi de cette unité « hérétique ». La chose est facile, car il existe une unité de brillance dérivant logiquement des autres unités photométriques : c'est la bougie internationale par unité de surface, ainsi qu'elle a été définie par la Commission internationale de l'Eclairage dans sa session de 1924 ; autrement dit, en se servant de la terminologie adoptée dans la législation française concernant les mesures, c'est la bougie décimale par centimètre carré. Cette unité, pour laquelle M. A. Blondel a proposé le nom de « stilb » en vue d'écourter le langage, vaut π lamberts.

M. le Dr Couvreux. — J'ai employé le lambert uniquement parce que les auteurs des travaux que j'ai rapportés l'avaient fait eux-mêmes.

M. Matigot. — Le spasme qui amène la modification du diamètre de la pupille ne pourrait-il pas donner une valeur de l'éblouissement pour un œil sain ?

M. le Dr Couvreux. — Le diamètre de la pupille est extrêmement difficile à mesurer pour plusieurs raisons. D'abord, il dépend du système sympathique qui détermine sur la pupille des modifications dont nous ne pouvons tenir absolument aucun compte, parce que nous ne savons pas ce qui se passe dans le sympathique. Toutes les impressions périphériques, toutes les émotions agissent sur la pupille, la peur par exemple, la dilate. Ces modifications sont absolument indépendantes de toute condition physique.

Ensuite, le diamètre de la pupille dépend de l'état d'accommodation de l'œil, or, rien n'est plus instable que cette accommodation. Il est extrêmement difficile de la maintenir fixe et les variations de diamètre qu'elle imprime à la pupille, sont au moins égales ou supérieures à celles que donnent des variations de brillance très accentuées. De sorte que les erreurs sont d'ordre supérieur à celui des éléments mesurés.

Digitized by Google

D'ailleurs, pour faire une mesure, il est nécessaire de commencer par éclairer la pupille et, si l'éclairement est suffisant, il produit de l'éblouissement. Il faut avoir recours aux pupillomètres subjectifs qui ne peuvent donner de bons résultats qu'avec des sujets très éduqués.

La photographie est d'un emploi difficile, car l'iris est généralement limité par un liséré foncé, dont le bord est peu distinct.

M. MATIGOT. — Visuellement, on constate des modifications très nettes du diamètre pupillaire. On peut même très bien les cinématographier.

M. le Dr COUVREUX. — La variation du diamètre de la pupille se produit presque entièrement entre 0 et 10 lux, valeur pour laquelle le diamètre passe de son maximum de 6 ou 7 millimètres, suivant les sujets, à 2 millimètres. Au delà de 10 lux, et jusqu'à l'ordre de plusieurs centaines, la variation n'est plus que de 1 ou 2 dixièmes de millimètres. Ce test ne peut donc servir à évaluer l'éblouissement.

M. MATIGOT. — Ce sont les éclairements de 20 à 100 lux qui nous intéressent. Il faudrait que la variation se poursuive jusqu'à 100 lux.

M. le Dr COUVREUX. — Précisément, de 20 à 100 lux, la variation pupillaire est à peine de l'ordre du dixième de millimètre et, d'ailleurs difficilement mesurable en raison du liséré.

En parlant de l'éclairement d'une feuille de papier blanc par exemple, j'envisage d'ailleurs l'éclat que prend cette feuille et c'est lui seul qui compte pour l'éblouissement. Si la feuille est noire, elle le restera toujours, quel que soit l'éclairement. C'est pour cela que j'ai parlé constamment de brillance et non d'éclairement, autrement, il faut faire intervenir un coefficient qui détermine l'éclat en fonction de l'éclairement.

M. LE PRÉSIDENT. — Nous savons que la question de l'éblouissement domine celle de l'éclairage, et nous constatons que la première n'est pas encore résolue. Nous allons traiter maintenant celle de l'éclairement des champs d'atterrissage, qui est encore plus difficile à résoudre sans produire d'éblouissement.

Actuellement, si nous ajoutons quelque part une nouvelle source lumineuse, nous ne pouvons savoir d'avance si elle causera de l'éblouissement. Nous serions très heureux si des physiologistes comme le Dr COUVREUX, nous mettaient en état de répondre à cette question.

M. le Dr COUVREUX. — On se sert en électrophysiologie, pour mesurer la capacité fonctionnelle totale des muscles, de ce qu'on appelle

Digitized by Google

la *chronaxie*. Il faudrait trouver un test analogue dans le système visuel, sans passer par toutes les fonctions visuelles du test intégral, non pas de l'éblouissement, mais du fonctionnement de l'œil et mesurant la fonction visuelle totale. Il mesurera en même temps l'éblouissement si l'on admet que celui-ci est proportionnel à la variation de la capacité visuelle, car il est probable que l'éblouissement a une influence sur les réflexes de tout l'organisme.

Je crois que M. Bourguignon, à la Salpétrière, a dégagé à ce sujet un certain nombre de résultats très intéressants. Ce sont des chronaxies relatives aux cellules du nerf optique. Le courant électrique dont il se sert lui permet d'ailleurs d'atteindre les cellules nerveuses, mais non les cellules visuelles sensibles seulement à la lumière. M. Pieron part de cette idée que la rétine est très complexe, comprenant une partie diurne et une partie nocturne; dans l'une dominent les cônes et dans l'autre les bâtonnets. Si on pouvait négliger les bâtonnets et n'envisager que les cônes, la question serait bien simplifiée. D'autre part, le test dont on se sert actuellement est relatif au seuil absolu, or le seuil relatif nous intéresse autant.

Il faudrait mettre en évidence un test de chronaxie relative, qui n'a jamais été étudié et qui demande toute une série d'études préliminaires.

M. Marsat *présente son rapport sur les appareils d'éclairage pour aviation* (1).

Il ajoute : les principaux appareils construits pour l'aéro-navigation par les Anciens Etablissements Sautter-Harlé sont :

un projecteur de 25 cm, jumelé avec un canon à tir rapide, étudié pendant la guerre en collaboration avec le Commandant Verdon, mort depuis au Maroc. Cet appareil très léger, muni d'une lampe à arc automatique de 8 ampères, a permis à un aviateur de voir un ballon sphérique à une distance de 8 kilomètres. Les avions munis de ce projecteur portaient en outre 8 petits phares à incandescence de 12 cm de diamètre, destinés à éclairer le terrain lors de l'atterrissage ;

des projecteurs destinés à la recherche des avions, de 90 cm, 1 m 20, 1 m 50 et 2 mètres dont chaque modèle a été répété à de nombreux exemplaires ;

---

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, Tome VI, 4e série, n° 60, août 1926, p. 864.

Digitized by Google

des aérophares dont le plus ancien, installé en 1913 pour essais sur la tour de l'usine Sautter-Harlé, est constitué par un réflecteur de 1 m 50 divisé en trois segments égaux et illuminé par une lampe spéciale, dont le filament de tungstène forme une spirale de 2 mm de dia-

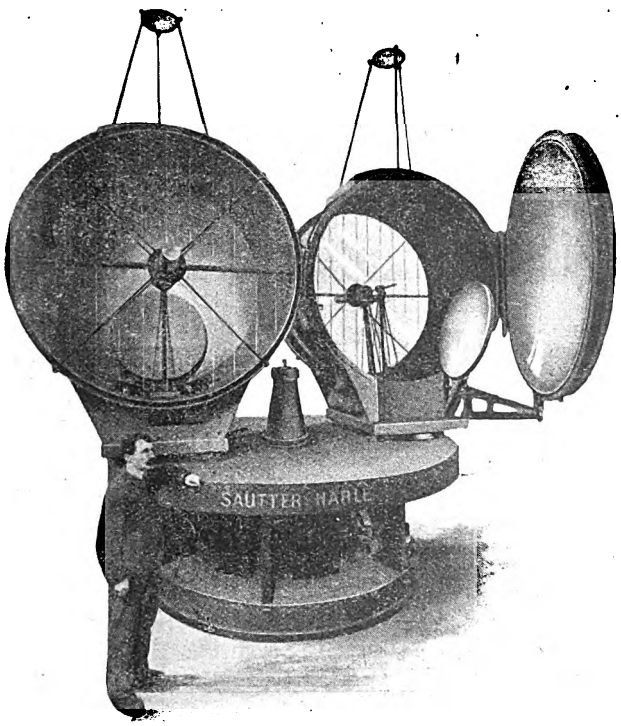


Fig. 2. — Aérophare du Mont Valérien.

mètre et 180 mm de long. Cet appareil, construit d'abord pour la navigation maritime, était à l'origine éclairé par un manchon à incandescence à vapeur de pétrole. Il a suffi de substituer au manchon la spirale de tungstène, pour obtenir des faisceaux ayant la divergence verticale qui semble nécessaire pour les aérophares, tout en conservant une puissance maxima dans le plan horizontal ;

un aérophare à transformations, muni d'un réflecteur de 90 cm, sectionné en quatre parties de façon à pouvoir constituer un réflecteur entier, deux demi réflecteurs ou trois tiers. On peut également donner diverses valeurs à l'angle formé par les deux faisceaux, lorsque l'on

Digitized by Google

utilise les deux demi réflecteurs. Une manœuvre facile permet de donner rapidement à l'appareil l'une quelconque des cinq apparences prévues : éclats équidistants, groupes de deux avec trois valeurs différentes du rapport entre les deux intervalles entre éclats, 1 à 3, 1 à 4, 1 à 5, groupes de trois ;

un aérophare constitué par deux projecteurs de deux mètres, illu-

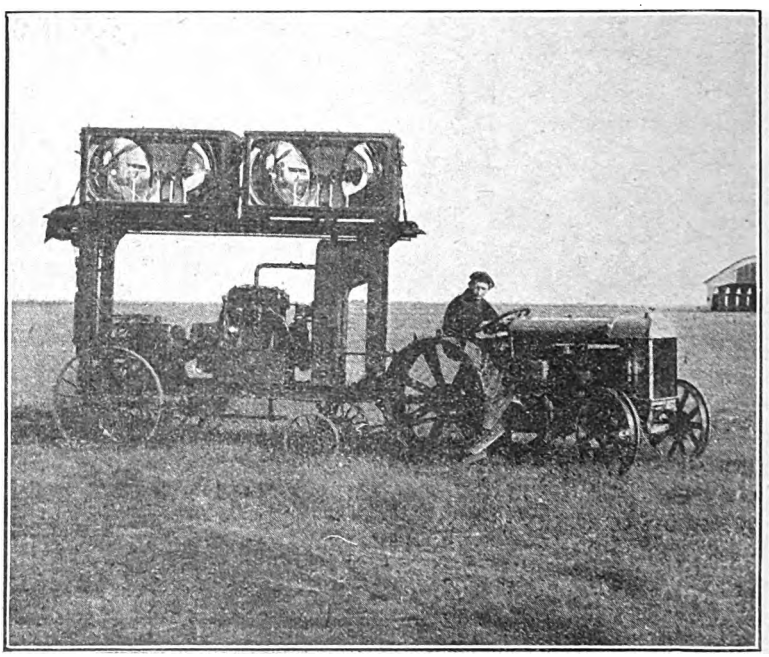


Fig. 3. — Aérodrome de Bucarest.
Appareil d'illumination et remorque portant le groupe électrogène.

minés par des lampes à arc de 300 A, 85 V. Les projecteurs peuvent tourner et un système de verrouillage les arrête dans les positions voulues :

les deux faisceaux orientés dans le même sens ce qui constitue l'appareil ayant, parmi tous les phares existants, la plus grande intensité photométrique.

les deux faisceaux orientés à 180° éclats équidistants.
— — — 120° rapport entre les deux intervalles obscurs consécutifs 1 à 2.
— — — 90° rapport entre les deux intervalles obscurs consécutifs 1 à 3
— — — 72° rapport entre les deux intervalles obscurs consécutifs 1 à 4.
— — — 60° rapport entre les deux intervalles obscurs consécutifs 1 à 5.

La plate-forme qui supporte les deux projecteurs est entraînée par

Digitized by Google

un moteur électrique et trois vitesses sont prévues : 6, 8 et 10 secondes par tour. L'aérophare peut donc présenter quinze apparences différentes et le passage de l'une à l'autre est très rapide, le plus long étant d'arrêter la rotation puis de démarrer à nouveau.

Enfin, les Etablissements Sautter-Harlé ont étudié, sur les indications de M. ROSAIN, Ingénieur de la Section Technique de l'Aéronautique, un appareil d'illumination des terrains d'atterrissage, constitué par deux réflecteurs de 60 cm et deux lampes à filament rectiligne du modèle indiqué déjà pour les aérophares à réflecteurs de 1 m 50 et de 0 m 90. Cet appareil n'aveugle pas les pilotes, étant placé sur le côté de la piste et il donne un éclairement horizontal du terrain sensiblement uniforme.

Les premiers exemplaires fonctionnent à Villacoublay et au Bourget. D'autres sont utilisés par la Société Franco-Roumaine, pour l'éclairage de ses aérodromes de Bucarest et de Belgrade. La Hollande en a acheté, et les chemins de fer de l'Ouest-Etat en envisagent l'emploi pour l'éclairage des gares de triage.

M. LE COLONEL RENARD. — Messieurs, je commencerai par remercier la Société Française des Electriciens d'avoir eu l'excellente et aimable pensée d'inviter l'Aéro-Club de France à se faire représenter à cette intéressante discussion. Nous sommes ici quelques membres de l'Aéro-Club, et je crois que mes collègues ont été très intéressés par ce que nous venons d'entendre.

Je ne suis pas un spécialiste en éclairage et si j'avais eu quelques illusions avant d'entrer dans cette salle, je les aurais rapidement perdues, car depuis le commencement de la séance, j'ai entendu des expressions techniques que je ne connaissais même pas et que j'ai comprises plus ou moins. Je ne me permettrai donc pas d'intervenir dans une question technique, mais je crois utile de vous signaler l'immense intérêt que présente la question d'éclairage pour la navigation aérienne.

Au début de l'aviation, on a déclaré qu'on ne volait que pendant le jour et pas pendant la nuit. Cela n'avait rien de déshonorant pour les avions, puisque la plupart des oiseaux ne sont faits que pour voler pendant le jour, nous étions donc aussi avancés que les hirondelles et les plus remarquables des oiseaux. Mais au point de vue pratique cela présente des inconvénients. Pendant la guerre on a été obligé de voler de nuit, et on l'a fait avec quelques risques et quelques dangers.

Actuellement, où l'on s'occupe de rendre l'aviation commerciale,

Digitized by Google

c'est-à-dire de la rendre le plus utile possible, il faut pouvoir voler de jour et de nuit. Dernièrement PELLETIER D'OISY est allé en dix-sept jours de Paris à Tokio en ne volant que de jour ; s'il avait volé la nuit aussi bien que le jour, il aurait mis deux fois moins de temps. Par conséquent la question présente un grand intérêt. Aussi les Compagnies de navigation aérienne se sont-elles beaucoup préoccupées de la question, ainsi que les services officiels de l'aéronautique tant militaire que civile.

Des progrès intéressants ont été faits dans cet ordre d'idées, et je peux vous citer un fait tout récent. En septembre dernier, un avion a pu se rendre du Bourget à Rabat en volant sans interruption de nuit comme de jour. Il est désirable que les études soient poussées dans cette voie, et je crois que personne ne me contredira dans l'aéronautique, si je dis que nous sommes très reconnaissants à des hommes distingués de s'être occupés de la question, et à la Société Française des Electriciens d'avoir travaillé dans cette voie et d'avoir présenté des appareils qui rendront les plus grands services.

Après avoir remercié comme il convient ceux qui travaillent pour permettre la navigation aérienne pendant la nuit, je crois qu'il serait excellent d'organiser des expériences méthodiques pour pouvoir apprécier la valeur des différents appareils, en constatant les qualités ou les défauts qu'ils peuvent présenter. J'ai pour les expériences de laboratoires la plus grande admiration, et je crois qu'on ne peut rien faire de sérieux sans elles, mais elles ne peuvent donner tout ce qu'il est nécessaire de savoir quand on passe dans le domaine de la pratique. Quand les expériences en petit ne réussissent pas, ce n'est pas la peine d'aller plus loin, l'appareil qui n'a pas donné de bons résultats en laboratoire en donnera de fort médiocres dans la pratique. Mais le contraire n'est pas vrai. Lorsque des expériences de laboratoire ont donné toute satisfaction, il n'est pas certain qu'il en sera de même dans la pratique courante, et elles ont besoin d'être confirmées par des essais pratiques dans lesquels interviennent un nombre considérable de facteurs compliqués. Tout à l'heure on nous expliquait la complexité des phénomènes de la vision ; en aviation, il y a des phénomènes aussi complexes, tels que la transparence de l'atmosphère ; aussi les appareils qui ont donné les plus remarquables résultats en laboratoire ne seront pas toujours les plus avantageux en service courant.

Il serait donc très intéressant de contrôler par la pratique des aviateurs les résultats obtenus, et dans ce but je crois qu'il serait bon de

Digitized by Google

placer des appareils dans les aérodromes, de demander aux pilotes les qualités et les défauts de ces appareils pendant le vol, et, grâce à ces renseignements, de constater quels perfectionnements pourraient être apportés aux appareils déjà réalisés et à leur installation.

Ces expériences sont assez difficiles parce que les pilotes les plus habiles ne sont pas des expérimentateurs de métier. Ils ont des qualités tout à fait différentes, et quand on veut les astreindre à faire des observations méthodiques, ils ne s'y prêtent pas toujours de très bonne grâce ; cela ne les amuse pas, aussi il faut leur mâcher la besogne. Je demanderais aux constructeurs de vouloir bien faire deux choses pour les pilotes : rédiger une petite notice très courte et très claire sur chaque appareil et sur les propriétés qu'il doit avoir, et en outre, un questionnaire clair et précis auquel les pilotes répondront soit par oui ou par non, soit par quelques mots. De cette manière, on pourra comparer les observations faites en différents points du territoire par les différents pilotes, et on en tirera des conclusions très intéressantes.

Au nom de l'Aéro-Club de France, de toutes les Sociétés aéronautiques et au nom des services officiels de l'aéronautique militaire, maritime et civile, je crois pouvoir affirmer que la collaboration du personnel navigant est toute acquise, et si MM. les électriciens et les membres de la Société veulent bien rédiger les questionnaires dont je viens de parler, je suis persuadé qu'ils seront reçus avec reconnaissance ; on leur fournira les renseignements les plus précieux et tout le monde y trouvera avantage, les constructeurs d'appareils et surtout les utilisateurs.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. le Colonel RENARD d'avoir bien voulu prendre part à nos discussions au nom de l'Aéro-Club, et je puis l'assurer déjà que les constructeurs sont disposés à prendre l'avis des pilotes, puisque, comme il le disait tout à l'heure, si les problèmes sont souvent difficiles à résoudre, c'est qu'ils sont mal posés, mais la section d'éclairage de la Société française des Electriciens se chargera volontiers d'établir la liaison entre les techniciens et les pilotes.

M. L'INGÉNIEUR EN CHEF FRANCK. — Au sujet des questions d'expérimentation, je crois que je pourrai donner quelques renseignements utiles sur ce qui a déjà été fait par l'Aéronautique pour les appareils d'éclairage ; en ce qui concerne les phares et aussi les projecteurs d'atterrissage, une série d'expériences a été faite à Villacoublay par le service technique de l'Aéronautique, au cours de laquelle on a eu l'occasion de voir, dans la pratique, ce que donnaient effectivement les

Digitized by Google

appareils à optique et les appareils à réflecteur, et on a trouvé que le résultat était sensiblement équivalent pour des sources de puissance à peu près équivalentes. Par conséquent, je crois que ceci confirme qu'il ne faut pas reprendre la question comme elle a été prise, et considérer que seuls les appareils à optique peuvent convenir, mais qu'il ne faut pas non plus conclure que les appareils à réflecteurs donneront des portées plus grandes que les appareils à optique.

Je crois, au moins étant donnés les résultats pratiques que nous avons obtenus jusqu'à présent, qu'il semble bien que les uns et les autres soient équivalents au point de vue de la portée que l'on peut obtenir.

Au point de vue des appareils d'atterrissage, les résultats ont été aussi à peu près équivalents dans des sens un peu différents. M. Marsat indiquait tout à l'heure qu'il faut que les problèmes soient posés avec précision, il en est un qu'il est difficile de poser ainsi, c'est la façon dont on doit atterrir la nuit.

Une première condition à remplir, qui est indiscutable, est la nécessité d'atterrir face au vent ou à peu près.

Doit-on atterrir en passant par dessus les projecteurs ou en les laissant de côté ? Les avis des pilotes sont très divisés. Avec les appareils qui ont été réalisés, ayant à peu près la même puissance, nous obtenions des surfaces éclairées de dimensions suffisantes pour atterrir ; mais les uns donnaient un faisceau étalé et permettaient d'atterrir par le côté, les autres donnaient un faisceau éclairant très loin en profondeur et permettaient d'atterrir en passant par dessus le phare.

Le service de la navigation aérienne cherche à imposer aux pilotes d'atterrir par côté. C'est aussi une tendance de l'aviation militaire, mais il est difficile d'imposer d'une façon formelle à un pilote une façon d'atterrir ; la question doit être résolue, mais reste délicate. Néanmoins, la tendance est de faire atterrir par côté en laissant le projecteur du côté droit. C'est parce que le pilote est généralement à gauche dans son avion ; en regardant à gauche au moment d'un atterrissage, il ne risque pas d'être ébloui par la source lumineuse.

Comme autres résultats d'expérience, il faut citer ceux obtenus cet hiver au cours d'une série très intéressante de voyages qui ont été faits entre Paris et Londres par la Compagnie française « l'Air-Union » ; un avion de cette Compagnie avait été spécialement équipé pour le vol de nuit, la ligne a été soigneusement équipée en phares et

Digitized by Google

appareils d'atterrissage et on a fait, s'il m'en souvient bien, une douzaine de voyages de nuit aller et retour Paris-Londres.

Une observation primordiale, faite pendant ces voyages, c'est qu'il est intéressant d'avoir des phares nombreux et de portée moyenne, plutôt qu'un petit nombre de phares de grande portée. Au point de vue technique on pouvait le prévoir, car vous savez que dès qu'il y a un peu d'absorption, les phares qui dépensent une très grande puissance perdent beaucoup de leurs avantages sur ceux de puissance moindre. La pratique et la technique s'accordent donc sur ce point.

En outre, par temps de bonne transparence mais nuageux, les nuages peuvent cacher un phare unique puissant, tandis qu'il y a des chances de continuer à voir au moins un des phares répartis.

Au cours de ces expériences, on a pu faire des observations intéressantes, si l'on n'a pu en tirer des conclusions nettes, ce qui serait difficile en matière aussi délicate. On a eu à comparer deux systèmes d'éclairage différents, celui du terrain d'atterrissage du Bourget, celui de Croydon en Angleterre. A Croydon, le phare projecteur est d'une très grande puissance, afin que le terrain, par temps clair, soit éclairé à peu près comme en plein jour. Au contraire, au Bourget, on a limité la puissance à l'éclairage d'un espace suffisant à un atterrissage convenable ; le terrain, quoique suffisamment éclairé, n'est donc pas tout entier en pleine lumière.

Les pilotes, surtout quand ils n'ont pas encore l'habitude de voler de nuit, préfèrent la solution anglaise, mais celle-ci est très coûteuse et on peut se demander si elle est justifiée, d'autant plus que les difficultés d'atterrissage de nuit se présentent surtout quand il y a de la brume. Par temps clair, avec les projecteurs dont nous disposons, un pilote un peu exercé peut toujours atterrir sans difficulté ; mais je me demande, d'après ce que j'ai eu l'occasion de voir, si l'excès d'éclairage n'est pas un mal par temps de brume, car on est ébloui par les reflets sur le brouillard. Là encore des études expérimentales doivent être poursuivies.

En résumé, aujourd'hui l'étude expérimentale des phares est suffisamment poussée, mais il n'en est pas de même de celle des projecteurs d'atterrissage.

M. Brandt. — A la demande de la Société française des Electriciens, je viens parler ici de réalisations obtenues depuis plus de dix années,

Digitized by Google

et qui sont donc entrées dans la pratique, certaines d'entre elles pouvant bénéficier dès à présent de larges perfectionnements, résultats de l'expérience acquise.

Il est utile de voir tout d'abord l'ensemble des problèmes qui peuvent être résolus par l'application de l'éclairage électrique à l'aviation.

1° *Pour les appareils de bord*, je laisserai de côté les feux de position, qui n'exigent pas de technique spéciale ainsi que l'éclairage de contrôle de bord, dont on peut dire en passant qu'il ne doit pas produire d'éblouissement, ce qui entraîne la suppression complète sur les tabliers, de toutes surfaces polies, des glaces biseautées, des nickels brillants et bien entendu, des lampes visibles.

Les projecteurs d'atterrissage doivent retenir davantage notre attention. Pour qu'un pilote puisse atterrir la nuit, par ses propres moyens, et sans trop de danger, il faut qu'il puisse voir loin et avec un grand champ ; ce champ devra surtout être large dans le plan horizontal, pour permettre d'abord de discerner plus facilement un emplacement acceptable, ensuite pour qu'au cours de l'atterrissage, le pilote puisse se diriger à droite et à gauche, ayant prévu suffisamment à temps les obstacles à venir sur le terrain.

Les projecteurs ont toujours été placés sur les ailes, le plus souvent en bout et vers l'avant, pour n'éclairer aucune partie de l'avion ; en nombre pair pour l'équilibrage de la résistance des ailes et du poids ; aussi légers que possible et profilés pour avoir une moindre résistance à l'avancement, ils doivent consommer assez peu de courant et donner un éclairement puissant.

Il reste à citer les projecteurs de télégraphie optique de l'avion au sol, et enfin les projecteurs de combat qui ont été imaginés, soit pour éclairer l'adversaire, soit pour constituer la ligne de mire étant conjugués à une arme, par exemple à une mitrailleuse.

2° *Les appareils de terrain* comprennent les signaux caractéristiques de l'aéroport, constitués, soit par des appareils de faible puissance émettant sur un code défini le nom de l'aéroport, soit par des appareils de grande puissance, véritables phares, visibles à longue distance, devant permettre aux avions de repérer de loin l'aéroport au signal connu.

Viennent ensuite les signaux d'orientation de sens du vent, de limite de terrain, d'obstacles éventuels.

Digitized by Google

Ces appareils ont été réalisés de façon généralement simple, par des lampes portatives à accumulateurs, en deux couleurs, blanc et rouge.

Un alignement de plusieurs feux blancs et une extrémité rouge peut définir le sens du vent ; un feu rouge seul, indique par exemple une limite non franchissable ou un obstacle isolé.

L'orientation du vent a, dans certains terrains définitivement aménagés, été obtenue par l'emploi d'un bon nombre de lampes installées sous des dalles en verre nivelées avec le sol, l'action d'une girouette à contact commandant automatiquement les séries d'allumages dans la direction voulue.

Ce système n'a pas absolument toutes les préférences, la forme du terrain pouvant faire préférer un sens d'atterrissage différant un peu du sens du vent et que le jalonnement des lampes devra donc indiquer exactement.

Nous avons ensuite les projecteurs de télégraphie optique du sol à l'avion, et enfin les projecteurs d'éclairement du terrain pour l'atterrissage. Ces derniers doivent, sans créer d'obstacles particuliers dans le terrain, c'est-à-dire étant placés sur ses limites, en éclairer toute la surface d'une manière suffisamment égale et sans éblouir les pilotes, quel que soit le sens de l'atterrissage qu'impose la direction du vent.

3° *Les appareils de balisage* ou de route, c'est-à-dire les phares à feux fixes et à feux signaux pouvant fournir des indications intermédiaires et des lignes de direction entre les aéroports et pour certains cas spéciaux l'éclairement d'obstacles, tels qu'une ligne à 60 000 volts se trouvant à très peu de distance d'un terrain d'aviation, et constituant un danger sérieux à cause de la faible altitude à laquelle doivent voler les pilotes aux abords des terrains.

Dans l'espèce, cet éclairement a été réalisé par l'emploi de projecteurs braqués l'un sur l'autre dans l'axe de la ligne haute tension, ce qui rendait visibles, la nuit, un certain nombre de pylônes et d'isolateurs.

4° *Les appareils de combat ou de défense*, c'est-à-dire des projecteurs fixés au sol pour la recherche aérienne, des projecteurs de barrage lumineux, capables de créer une nappe lumineuse sur des kilomètres de longueur, et que les avions ne peuvent franchir sans être aperçus.

Digitized by Google

Enfin, les appareils divers de camouflage et d'éblouissement pouvant concourir, soit à modifier artificiellement les apparences nocturnes d'une ville, soit à empêcher la vision exacte dans une certaine zone, soit encore à permettre aux avions de chasse, dont le plafond est très supérieur à celui des avions de bombardement, de survoler ces derniers et de les suivre.

Les solutions adoptées ne peuvent être exposées ici, mais il est bon de savoir qu'elles existent.

M. Marsat a montré, par la comparaison du miroir et de la lentille, les avantages manifestes du premier de ces dispositifs ; je dois dire que je n'ai jamais employé dans la réalisation d'appareils intéressant l'aviation, autre chose que les miroirs, sauf dans un seul cas, celui du projecteur de combat accompagnant une mitrailleuse. Une lentille de petites dimensions offrait alors deux avantages : un faisceau de divergence plus réduite et une forme mieux profilée du projecteur qui ne présentait aucun inconvénient sur des appareils rapides.

Il reste maintenant, à examiner plus en détails, deux catégories d'appareils, *les projecteurs d'atterrissage de bord* et de terrain, ainsi que les phares à signaux caractéristiques d'aéroport et les phares de balisage ou de route.

Le rapport de M. Marsat indique, à propos de l'utilisation de la totalité du flux lumineux, que l'examen des courbes d'intensité des faisceaux émis révèle bien vite que cette solution n'est pas avantageuse. Entendons tout de suite qu'il a voulu parler des phares et des signaux de portée pour lesquels c'est exact, mais ajoutons que ce qui est bon dans la marine ne l'est plus dans l'aviation.

M. Marsat sera de mon avis lorsque je dirai que c'est certainement là l'erreur fondamentale qui a fait, pendant la guerre, utiliser impromptu pour l'aviation, de nombreux appareils de haute qualité pour la marine, mais pour elle seule.

Avant d'aller plus loin, il faut noter soigneusement la différence d'emploi du flux et de l'éclat. Le premier importe pour éclairer une surface ; le second pour assurer la visibilité d'un feu.

Mais la visibilité d'un feu doit-elle exister seulement pour un observateur situé dans le plan d'horizon — cas de la marine — ou pour des observateurs aériens navigant dans un angle solide, cas de l'aviation ?

Digitized by Google

Pour une surface d'atterrissage, l'éclairement moyen sera proportionnel à la quantité de flux utilement dirigé et inversement proportionnel à la surface éclairée.

Pour la visibilité d'un feu tournant, la grande divergence dans un plan vertical, pouvant atteindre 90°, sera une condition première.

Dans le plan horizontal et les plans obliques, la largeur du pinceau dépendra de l'utilisation de la source par rapport au miroir.

Si l'éclat influe plus que la durée sur la visibilité, la durée a aussi une influence et, dans une rotation à temps fixé, elle dépendra uniquement de l'angle plus ou moins ouvert du pinceau lumineux.

A quoi bon dès lors prendre seulement une petite portion de flux sur un réflecteur à grande distance focale, pour obtenir un pinceau mince, plutôt que tout le flux sur un miroir à plus petite distance focale qui augmentera la durée.

Il nous faut en somme 45 à 90° dans le plan vertical et environ 8° dans les plans perpendiculaires, au lieu du petit pinceau conique de 4° du projecteur de marine.

Nous utilisons donc un angle solide de section vingt-cinq à cinquante fois plus grande, et pour alimenter un tel pinceau, il faut un flux considérable, si nous ne voulons pas, tout à la fois, diminuer la durée et l'éclat dans le cas d'emploi de prismes divergents étalant le pinceau.

Sauf dans les projecteurs de bord où l'emploi de lampes à incandescence est indispensable pour des raisons de poids, de simplicité, d'allumage sans réglage, il est possible dans tous les autres projecteurs d'employer la lampe à arc ou la lampe à incandescence.

La lampe à arc émet un flux dans un angle solide restreint dont le cratère est le sommet, ce qui en facilite l'utilisation devant un réflecteur. Elle a pourtant de nombreux inconvénients qui ont amené à lui préférer dans presque toutes les applications à l'aviation, la lampe à incandescence à filament de tungstène, la seule d'ailleurs dont je me sois servi.

Comment peut-on utiliser le flux d'une lampe à filament de tungstène dans des projecteurs ?

Il faut tout d'abord obtenir la plus petite dimension possible de la source éclairante, puisque la dimension des miroirs augmentera comme celle de la source non punctiforme, pour une même divergence à obtenir.

Il est facile de modifier les dimensions du filament de tungstène,

Digitized by Google

en réglant la tension et l'intensité pour obtenir un filament court et gros.

C'est ainsi que les premières lampes que j'ai étudiées ont été construites par exemple pour 45 A, 22/24 V et pour 30 A, 16 V.

Leurs dimensions étaient très réduites et leurs rendements très élevés. Elles consommaient au plus 0,5 W par bougie décimale.

Mais leur émission sphérique ne permettrait guère que l'utilisation de la moitié du flux sur un miroir parabolique dont le diamètre serait pourtant quatre fois la distance focale.

J'ai donc envisagé l'emploi d'un petit miroir hémisphérique dans la lampe même, et j'ai réussi depuis dix ans, à obtenir des lampes n'émettant plus que dans la zone utilisable sur des miroirs. Ces lampes consomment 0,26 W à 0,28 W par bougie hémisphérique utilisable.

Les culots de ces lampes ont été étudiés pour les intensités qu'elles ont à supporter, autant que pour le montage dans une douille spéciale; un écrou et un cône de blocage assurent le contact, la robustesse et la précision indispensables.

Les projecteurs de terrain d'atterrissage (ou de bord) devant éclairer une grande surface, il fallait choisir entre deux solutions ; ou employer un grand nombre d'appareils parallèlement conjugués ou créer un faisceau largement étalé dans le seul plan utile, car un faisceau divergent conique à grand angle n'eut pas beaucoup mieux valu que des lampes nues.

Enfin, les pertes de flux dans les prismes divergents autant que leur prix élevé faisait rejeter cette solution. J'ai donc adopté un miroir métallique à courbure spéciale, parabolique dans un plan, elliptique dans un plan orthogonal et dont les tranches parallèles à ce deuxième plan sont des enveloppes d'ellipsoïdes.

Cette solution générale a pour limite une divergence de 180° dans un plan, 0 dans l'autre (lorsque la source est punctiforme) pour une parabole dans un plan et un 1/2 cercle dans l'autre.

C'est ainsi que les miroirs des projecteurs de bord produisent un pinceau dont la divergence est de 30° et 8° et que les miroirs des projecteurs de terrain produisent un pinceau de 90° et 8°. Tous angles quelconques peuvent être obtenus.

Ces projecteurs peuvent donc être installés en un point du terrain en bordure et donnent la nappe étalée nécessaire à l'éclairement d'une surface importante. Il suffit de disposer deux jeux de projecteurs de

Digitized by Google

part et d'autre du terrain, en utilisant seulement l'un ou l'autre jeu pour que les aviateurs puissent atterrir contre le vent sans jamais avoir les projecteurs de face.

En employant quatre projecteurs à double élément soit 8 kW, on illumine suffisamment un terrain gazonné sur 1 000 et 1 200 mètres de profondeur et sous un angle de 160 à 180°.

Pour éviter trop de contraste entre les éclairements des surfaces proches des projecteurs et le lointain, on place ceux-ci à une hauteur de quelques mètres au-dessus du sol, braqués de telle sorte que le bord inférieur du faisceau vienne toucher le sol à plus de 60 mètres des projecteurs. L'obliquité nécessaire de l'axe du faisceau implique la nécessité d'une divergence de 8° au moins dans le plan vertical.

La construction elliptique donne devant l'appareil ce que l'on peut appeler le lieu des foyers conjugués des ellipses. Ce lieu est une droite par laquelle passe toute la lumière. Il en résulte un avantage très important pour les appareils de bord, un avant profilé laissera passer, par une fente étroite, tout le pinceau dont le sommet correspond à cette fente ; pour les projecteurs de terrain, un panneau pare-éclat laissera passer tout le faisceau par une fente, ce qui masquera la brillance de toutes parties du projecteur.

L'éblouissement est impossible à moins d'aborder les projecteurs de face.

Passons maintenant aux phares et signaux.

Devons-nous rechercher de très grandes portées ?

Je ne le crois pas, car sans parler « de temps bouché » ou « coton » en termes d'aviation, où la visibilité de n'importe quel feu devient presque nulle, nous devons envisager des temps légèrement brumeux où la portée des appareils les plus puissants se réduit beaucoup.

Ce n'est donc pas la portée qui donnera la solution, mais le nombre et l'espacement moindre des éléments, de telle sorte que si les portées se trouvaient réduites de moitié par exemple, et devenaient même inférieures à l'écartement des balises, le pilote ne serait jamais longtemps sans découvrir un ou plusieurs repères.

Ces appareils plus nombreux seront nécessairement beaucoup plus simples et moins coûteux tout en donnant une sécurité plus grande.

Il va de soi que par temps exceptionnellement clair et calme, une partie des appareils de route pourrait rester éteinte.

Deux solutions simples se présentent : la première est donnée par

Digitized by Google

l'emploi d'une lampe à émission hémisphérique surmontée d'un miroir métallique de forme évasée tenant lieu de parapluie autant que de miroir ; un mécanisme à contact à intermittences et durée combinables, provoque l'allumage et l'extinction de ce feu signal. La consommation est de 1 kW, l'angle solide est défini par la rotation d'un vecteur de 45°, la portée par temps clair est supérieure à 60 km.

La deuxième solution, obtenue par l'emploi de feux tournants, comportera l'utilisation d'un certain nombre de miroirs ellipso-paraboliques, les axes elliptiques étant dans des plans verticaux faisant entre eux des angles réglables qui définissent l'intermittence des feux éclats au cours d'une rotation.

Une considération capitale est à retenir :

Tous les appareils d'éclairage d'aviation doivent émettre dans de grands angles solides.

C'est même vrai pour les petits appareils de télégraphie optique, avec lesquels il faut, du sol, garder dans le champ un point mobile, avec lesquels il faut, de l'avion, malgré ses mouvements, conserver la visée d'un point fixe.

Il suffit d'ailleurs que la lunette de visée, nécessairement à très grand champ, comporte un secteur indicatif d'un champ plus petit que celui du projecteur.

C'est encore beaucoup plus vrai pour les projecteurs de recherches aériennes. Malgré la puissance des projecteurs employés pendant la guerre, et malgré les repérages au son, l'exiguité de leur pinceau lumineux a rarement permis de découvrir un avion. Inutile de dire que les résultats de l'artillerie ont été encore plus modestes. On a cité pour le camp retranché de Paris, plusieurs avions descendus au canon ; je n'en connais qu'un cas authentique.

Pour les zeppelins, cibles un peu plus vulnérables, les résultats sont naturellement plus concluants.

J'ai eu l'occasion de réaliser des projecteurs de recherches, donnant un faisceau dont la divergence totale était de 9°. Ils étaient constitués par la conjugaison parallèle d'un certain nombre de petits projecteurs, l'ensemble sur un seul panneau, orienté et mû simultanément. La consommation était de 12 kW, et il a été facile de découvrir à coup sûr tous les avions qui ont été employés aux démonstrations jusqu'à 3 000 et 4 000 m de hauteur, sans repérage au son, tandis que des projecteurs à pinceau mince essayés comparativement, ayant certainement

Digitized by Google

une portée plus grande, n'ont pas trouvé les avions ou, les ayant trouvés, les ont perdus définitivement.

La consommation des lampes à incandescence, dans tous les appareils d'éclairage d'aviation, a été inférieure à celle des arcs ; les formes de faisceau sont distribuées plus judicieusement par des miroirs dont les courbures spéciales ne seraient pas très facilement obtenues avec de trop grandes dimensions. L'utilisation totale du flux émis par la source est une considération importante. Elle ne pourrait être obtenue en particulier dans tous les appareils à lentilles et prismes.

Je laisse à la Société Française des Electriciens, une documentation photographique et descriptive qui pourra être consultée facilement par toutes les personnes que la question intéresse. Je suis d'ailleurs à leur disposition pour donner, de manière précise, les renseignements utiles qu'une causerie comme celle-ci ne permet pas de fournir.

M. Bénard. — Je crois qu'il y a eu malentendu entre M. Marsat et nous. Il avait demandé à un de nos Ingénieurs de lui remettre les notices et descriptions des appareils exécutés et fournis par notre firme pour les besoins de l'aviation et je comprends maintenant que, d'après lui, les autres constructeurs étaient invités à présenter leurs appareils.

Je parle ici au nom de la Maison Barbier-Bénard et Turenne.

Nous avons fait les éclairages des principaux aéroports, en particulier celui du Bourget ; le projecteur de Croydon, dont parlait le Commandant Franck, est exactement le même que celui du Bourget, sauf toutefois que la lampe à incandescence est remplacée par une lampe à arc.

Il y a certains points sur lesquels nous ne sommes pas d'accord avec M. Marsat dans la question du rendement des appareils à optique. Même si on tient compte du chiffre de M. Ribière, 70 pour cent, ce rendement est supérieur aux 50 pour cent indiqués par M. Marsat. Je ne crois pas que, même avec une lentille, on n'arrive à n'avoir que la moitié de ce que l'on obtient avec un miroir. Il y a d'ailleurs un autre facteur, c'est la durée des appareils. Il y a des appareils en verre qui durent depuis cent ans et qui marchent encore. Je ne crois pas que les miroirs, à beaucoup près, atteignent ce résultat.

M. Marsat. — Sur la question des optiques, je m'attendais évidem-

Digitized by Google

ment à ce que la Maison Bénard ne soit pas tout à fait de mon avis, mais il me semble que des rendements donnés par M. Ribière, si nous tenons compte de la partie dioptrique et catadioptrique, nous déduisons un rendement moyen qui n'est pas loin de 0,5.

M. Bénard. — Il ne faut pas prendre la moyenne 0,85 pour la partie dioptrique et 0,50 pour la partie catadioptrique qui est la plus développée.

M. Marsat. — La partie dioptrique sous-tend un angle de 60°.

M. Bénard. — Il y a des optiques dont la partie dioptrique sous-tend un angle supérieur à 90°. Des vérifications viennent d'être faites récemment par le Service Central des Phares et Balises. Or, un miroir métallique ne sous-tend pas beaucoup plus.

M. Marsat. — Les miroirs métalliques pour projecteurs sous-tendent généralement un angle de 100 à 120°, mais pour les phares nous avons envisagé des angles beaucoup plus grands et allant jusqu'à 170°. J'ai dit ce que je crois la vérité, et ne crains pas beaucoup de m'être trompé.

M. Bénard. — Nous parlons de la même façon ici. Il n'y a que l'expérience qui puisse trancher la question.

M. Marsat. — Maintenant le facteur durée. Vous savez comme moi qu'on fabrique des réflecteurs en verre argenté qui semblent, au point de vue résistance au frottement bien supérieurs aux miroirs métalliques, et les réflecteurs en verre argenté semblent absolument indéfinis. Quand une argenture est réussie et éclairée par une source lumineuse pas trop intense, on ne voit pas par quoi sa durée sera limitée.

M. Bénard. — Nous construisons également des miroirs et des appareils d'optique, de sorte que nous ne demandons pas mieux que de construire un type plutôt qu'un autre, si les personnes qui les emploient préfère un type plutôt qu'un autre, nous sommes à leur disposition.

M. Marsat. — Je suis convaincu que vous viendrez au miroir.

M. Bénard. — Jusqu'à présent les résultats ne prouvent pas sa supériorité, depuis 1904 au moins. Il y a eu le phare de Galiton qui a été fait pendant la guerre et c'est à peu près tout. Le phare d'Héligoland n'a pas eu de frère.

M. Marsat. — Le phare d'Héligoland est extrêmement intéressant à étudier. On lui a reproché de ne pas donner une intensité lumineuse suffisante. Les Allemands, après avoir trop espéré dans le phare d'Héli-

Digitized by Google

goland, en ont gardé une opinion défavorable et ne l'ont pas recommencé, ils ont considéré que c'était un échec.

M. L'INGÉNIEUR EN CHEF FRANCK. — La discussion a abordé un certain nombre de sujets, sur lesquels j'aimerais attirer l'attention parce qu'ils posent des questions très intéressantes. Il a été parlé en particulier de l'équipement de bord des avions pour les voyages de nuit qui pose deux questions essentielles : trouver le moyen d'éclairer le bord comme il faut, et surtout le pilote, sans l'éblouir, c'est-à-dire d'une manière telle qu'il puisse passer de l'observation de ses instruments à celle du sol, qui est dans le noir, sans perdre son accommodation. C'est très difficile et nous sommes très mal renseignés, notamment sur la coloration de la lumière à employer.

Dr COUVREUX. — D'après les discussions qui ont porté sur les avantages respectifs du bleu et du vert, il semble bien que le bleu permette le mieux de garder l'accommodation.

M. L'INGÉNIEUR EN CHEF FRANCK. — D'autres expérimentateurs ont conclu en faveur du rouge.

La question ne paraît pas avoir été étudiée systématiquement comme elle le mériterait.

Une autre question très importante est celle de pouvoir, avec les moyens du bord, éclairer suffisamment le sol pour atterrir. On a signalé qu'il existait des projecteurs d'éclairage : effectivement il en existe qui conviennent pour atterrir sur un terrain que l'on connaît comme bon. Mais la grosse difficulté est de reconnaître un terrain non organisé et sur lequel on est obligé d'atterrir. Les bombes Michelin éclairantes en parachute, donnent pendant environ trois minutes un éclairement suffisant pour qu'on puisse observer une surface de l'ordre du kilomètre carré et davantage. C'est suffisant pour choisir un terrain. La bombe a l'inconvénient d'être assez lourde ; on ne peut en emporter plus de deux. Si donc on avait un moyen d'éclairage permanent permettant de reconnaître le sol de la même manière, ce serait fort intéressant. C'est évidemment très difficile à réaliser avec une puissance suffisante et un champ suffisant, et la solution n'a pas encore été trouvée.

On a parlé aussi de la défense contre avions. C'est un problème spécial et d'ordre militaire ; néanmoins, sans trahir aucun secret, je me permettrai d'en parler, en raison de son importance. C'est je crois maintenant un des moyens de défense du territoire qu'il faut envisager

Digitized by Google

comme primordial. Or les projecteurs existent déjà, mais les avions ont des moyens qui deviennent de plus en plus puissants. On arrive à faire des vols de nuit avec des avions lourds, à des altitudes de plus en plus grandes. Il faut donc envisager la possibilité de découvrir les avions à de très grandes altitudes et par suite avoir des projecteurs aussi puissants que possible .

En France, comme partout, d'ailleurs, le problème qui se pose est celui de la source lumineuse qui doit être excessivement puissante, tout en gardant un champ suffisant sans être trop grand. Le problème a été posé aux spécialistes, mais toute personne qui s'occupe des sources lumineuses de grande puissance peut suggérer des idées intéressantes.

Quant à la visibilité des phares, on disait tout à l'heure que les caractéristiques des phares sont toutes différentes pour la marine et pour l'aviation. C'est l'idée que nous avions tous, *à priori*, en commençant à étudier les phares d'aviation. En fait, la pratique a montré que les phares de marine étaient très visibles en avion. Cela a d'abord été observé par les dirigeables du centre de Cuers, pour lesquels, à une distance convenable, les feux étaient aussi visibles que dans le plan horizontal : en se rapprochant, ils voyaient tourner le faisceau. Par conséquent il semble que, pour les phares destinés à être vus à grande distance, les phares de marine sont tout à fait utilisables pour l'aviation. La même observation a été faite par les pilotes de l'Air-Union qui ont traversé la Manche. De même dernièrement, au cours du voyage de nuit de Paris à Rabat, le pilote et l'observateur ont signalé qu'ils avaient très bien vu le phare de l'embouchure de l'Adour, tous les phares de cette région, tous les phares du littoral espagnol et marocain du côté de Tanger et de Gibraltar.

Je crois qu'il faut suivre de très près l'expérimentation en cette matière. Théoriquement, le pinceau d'un phare marin ne doit pas être visible dans l'air, mais il faut tenir compte : d'une part de la réfraction atmosphérique qui relève le pinceau à partir d'une certaine distance et d'autre part des effets de diffusion dont parlait M. Marsat. Je ne sais du reste pas si ce sont les seules causes du phénomène.

On a essayé de mettre des dispositifs spéciaux sur les phares marins, pour les rendre visibles encore quand on sort du pinceau et qu'on approche de la verticale des phares. Généralement ces dispositifs se sont révélés insuffisants : ou on voit très bien le pinceau de phare qui tourne, et alors il est tout à fait inutile de voir à côté une petite

Digitized by Google

lumière, ou il y a des nuages cachant le pinceau et la lumière auxiliaire qui serait visible à la verticale, n'est plus suffisante pour percer le rideau.

M. MARSAT. — Je suis de l'avis du Commandant Franck au point de vue des phares maritimes. J'estime par contre qu'il est nécessaire que les phares d'aviation aient une répartition de lumière très méthodique. Cependant les essais de l'aérophare de Gris-Nez ont montré, d'après les aviateurs qui ont fait les observations, que cet appareil n'avait à peu près aucun intérêt. Je suis obligé d'en conclure que les lentilles, grâce à la grande quantité de lumière qu'elles diffusent, donnaient exactement la répartition nécessaire pour la hauteur à laquelle les aviateurs se tenaient et l'état de l'atmosphère au moment où les essais avaient lieu.

M. BRANDT. — Pour répondre à une question posée en ce qui concerne la visibilité du faisceau d'un phare et d'un projecteur de grosse puissance, je dirai que j'ai eu l'occasion de faire des essais un soir où il avait plu longtemps à gouttelettes serrées ; les faisceaux qu'on discerne habituellement avaient complètement disparu et cette disparition a persisté après cessation de la pluie, l'air étant purifié. On ne peut cependant admettre que, dans des conditions météorologiques identiques, nos pilotes ne puissent plus se diriger, parce que l'on aura adopté des appareils à lentille.

M. L'INGÉNIEUR EN CHEF FRANCK. — D'autant plus que les deux systèmes existant, on n'a qu'à choisir, à expérimenter soi-même et demander à tous les constructeurs de faire des expériences.

M. BÉNARD. — Tous les phares à réfracteurs de verre sont étudiés de façon à ce qu'un avion volant entre 1 000 et 4 000 m reste constamment dans le faisceau. Avec la réfraction, je crois qu'un angle de 7° suffit amplement.

M. BRANDT. — Puisque nous sommes d'accord pour envisager la substitution, aux feux à grande portée, de phares de portée moindre, mais multipliés, que l'avion rencontre successivement, il est doublement important que ces feux donnent le plus grand angle possible. Or, cette disposition est prise pour les temps brumeux, où il faut voir les phares au-dessus desquels on passe et non pas ceux qui sont presque à l'horizon.

M. L'INGÉNIEUR EN CHEF FRANCK. — Je voulais dire seulement que les phares marins étaient très utilisables.

M. BRANDT. — Par temps clair, avec le moindre clair de lune, un

Digitized by Google

aviateur s'oriente surtout d'après le cours des rivières et n'a besoin d'aucun éclairage. Mais, par temps de brume, il faut que les phares éclairent dans un angle solide presque jusqu'au zénith, chose bien inutile pour la marine.

M. L'INGÉNIEUR EN CHEF FRANCK. — Le faisceau doit être dans ce cas extrêmement puissant, or ce n'est pas le cas pour tous les phares existants pour lesquels on a envisagé simplement la quantité de lumière permettant de voir environ à 4 000 ou 5 000 m d'altitude par temps moyen.

M. BRANDT. — J'envisageais précisément, à cause du cas particulier de non visibilité que je viens de citer, que le faisceau rotatif doit avoir dans son émission sur tout l'angle, de 90° par exemple, la même intensité, le même éclat pour que, quand son éclat ne suffit plus à percer les 60 km d'horizon d'où on devrait le voir en temps normal, il perce encore les 500 m de brume à l'endroit où doit passer l'avion. C'est possible si l'intensité reste constante sur toute la plage du faisceau.

Notes communiquées sur le rapport de M. Marsat.

1° NOTE DE M. BENARD.

Dans son rapport publié au Bulletin n° 60 d'août 1926, M. MARSAT indique que l'avantage de la facilité de réparer les optiques est plus apparente que réelle.

Notre opinion, confirmée par une longue expérience, est tout à fait différente. Les foyers et les dimensions des éléments de phares de notre fabrication sont précis et un élément de remplacement peut être substitué très facilement à un autre. La mise en place même dans les phares est très facile, ainsi d'ailleurs que le réglage.

Cette observation de M. MARSAT nous paraît une des meilleures preuves de la supériorité des appareils lenticulaires, puisqu'il reconnaît que l'on peut remplacer des éléments sans avoir à remplacer toute la partie optique, ce que l'on est obligé de faire quand une avarie survient à un miroir.

Digitized by Google

De plus, les éléments lenticulaires sont très résistants et un choc qui produira une brèche ou même une cassure dans un élément mais laissera tous les autres intacts, mettra tout le miroir hors de service.

Il est exact que le verre prend parfois une légère coloration, légèrement jaunâtre ; il donnerait donc de lui-même une coloration se rapprochant de celle du miroir doré que l'on a prétendu avantageuse.

Quoi qu'il en soit, au point de vue optique, cette coloration n'a aucune importance et ne nuit nullement au rendement lumineux : d'ailleurs, il est très facile de l'empêcher.

Quant au dépoli produit par le manque de soin du gardien, l'observation paraît bien peu sérieuse. En effet, si le gardien est peu soigneux, il le sera aussi bien pour le miroir que pour la lentille.

Il ne faut pas avoir visité beaucoup de phares pour constater qu'un pareil manque de soin des gardiens est extrêmement rare.

N'oublions pas que des phares lenticulaires ont plus de 100 ans et ont encore conservé un très beau poli et un rendement remarquable, quoique la précision de taille des verres fût, à cette époque très loin d'approcher la précision actuelle.

Nous sommes d'accord avec M. Marsat que les surfaces de métaux polies nues se rayent plus facilement que le verre, mais nous considérons que le vernis proposé comme protecteur nuit beaucoup au rendement des miroirs.

En cas d'incendie, nous sommes convaincus que si quelques éléments lenticulaires sont avariés, il est facile de les remplacer tandis qu'au contraire, les miroirs en verre cassent et les métaux subissent une déformation.

Dans les deux cas, les miroirs deviennent inutilisables de même que dans le cas de choc dont nous avons parlé plus haut.

A l'appui de cette assertion, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire un extrait d'un article très intéressant de M. Marius Grosjean, Ingénieur Attaché au Service des Projecteurs de l'Armée, article paru dans la Revue Générale de l'Électricité du 4 octobre 1919, tome VI, n° 14, intitulée *Les projecteurs électriques de gros calibres pendant la guerre*, on y lit page 447, deuxième alinéa de la deuxième colonne.

« Enfin, la figure 7 donne l'image du réseau d'un miroir de 90 cm de « distance focale (miroir métallique doré Harle), provenant d'un pro- « jecteur mis en service au début de la Guerre et retourné à la Section

Digitized by Google

« Technique de l'Artillerie, pour réparation à la suite d'un bombarde-
« ment aérien.

« Des éclats de shrapnell avaient, entre autres, traversé le cylindre
« et le miroir, produisant dans celui-ci trois trous « *grands tout au plus*
« *comme une pièce de cinq francs*. Ce miroir et sa monture par ailleurs
« ne *paraissent pas déformés*. On voit que le passage du réseau n'a pas
« été inutile : alors que la surface réfléchissante ne paraissait réduite
« de prime abord que de quelques centièmes, en réalité le *miroir était*
« *devenu inutilisable* ».

M. Marsat signale que les incendies sont fréquents avec les brûleurs à vapeur de pétrole. Il ne faut pas exagérer ; en tout cas, si l'éclairage à incandescence par la vapeur de pétrole peut convenir dans les phares des côtes, surveillés par un gardien permanent, à notre avis, il ne convient pas du tout et doit être prohibé dans les feux destinés à l'Aviation. D'ailleurs, même pour les phares des côtes, ce mode d'éclairage est avantageusement remplacé assez souvent maintenant, soit par l'incandescence électrique, soit par l'incandescence aux gaz spéciaux : acétylène dissous, gaz B.B.T. etc...

Nous prétendons pouvoir réaliser avec l'appareil lenticulaire tous les caractères demandés et donner aux feux la répartition d'intensité utile.

Quant au rendement des optiques, nous pouvons affirmer qu'un essai fait récemment au Service Central des Phares et Balises a donné comme rendement d'un appareil optique 87 pour cent.

Sans vouloir entrer dans une discussion qui mènerait beaucoup trop loin, on peut se demander si ce que M. Marsat reproche à Fresnel n'a pas été fait en sens inverse dans les comparaisons faites entre une lentille soustendant dans le plan horizontal moins de 90° et un miroir soustendant 128°. Or, si nous nous reportons à ce que M. Marsat nous dit : « C'est précisément dans cette direction (horizontale) qu'un grand « nombre de sources présentent leur intensité la plus forte » ; il n'est donc pas étonnant que l'appareil soustendant l'angle le plus grand dans le plan horizontal donne une intensité plus grande.

En tous cas, s'il y a légère supériorité de rendement des miroirs quand ils sont neufs, les miroirs, leur dorure ou leur argenture se détériorent rapidement, tandis que les lentilles conservent toujours le même rendement.

D'ailleurs, comment expliquer que les Directeurs de Phares dont nous sommes bien obligés de reconnaître la haute compétence, n'ont pas adopté, malgré leur prix inférieur, les phares à miroirs malgré

Digitized by Google

l'essai de HELIGOLAND, qui remonte à une trentaine d'années et celui du GALITON à une dizaine d'années.

Comme l'a fait remarquer M. le Commandant FRANCK, pour l'éclairage des terrains d'atterrissage, on n'a pas trouvé de différence appréciable dans l'éclairage par miroir ou par lentille.

Il convient de remarquer que, avec le dispositif lenticulaire employé dans ce cas, tout le flux lumineux de la source est loin d'être utilisé comme cela se fait dans les appareils de phares tournants par exemple.

M. MARSAT parle de l'élasticité des machines pour le travail du verre et du mauvais coefficient de régularisation des tours à anneaux. Nos machines pour le travail des anneaux sont établies d'une façon aussi robuste que celles destinées au travail des miroirs.

Nous fabriquons, en effet, des miroirs et des éléments lenticulaires, les miroirs étant employés pour les projecteurs de rechange de guerre, marine, D. C. A., théâtres, studios et les éléments lenticulaires pour les phares et les éclairages d'aviation autres que le D. C. A., même pour des appareils d'éclairage de salles d'opération « Le Scialytique ».

Nous croyons donc être sans parti-pris puisque nous fabriquons les deux optiques, éléments lenticulaires ou miroirs.

On ne comprend pas le reproche fait aux appareils éclipseurs dont les éclats de longueur différents auront des portées très inégales.

Les appareils éclipseurs sont employés généralement avec des feux d'horizon à optique lenticulaire ou annulaire, de durées fixes ; dans ces conditions, on ne voit pas comment les éclats de longueurs différentes auront des portées très inégales, les durées des éclats les plus courts employés étant généralement d'environ 3/10 de seconde: on peut évidemment réaliser des éclats plus courts; nous avons fait 400 à la minute.

Qu'un éclat de durée 1 et d'intensité 2 porte plus loin, donc ait plus d'intensité qu'un éclat de durée 2 et d'intensité 1 c'est incontestable, mais un éclat d'intensité 2 et de durée 2, sera aperçu avec plus de facilité et plus loin que l'éclat d'intensité 2 et de durée 1.

Au début de l'invention des feux éclairs par M. BOURDELLES, ancien Directeur des Phares de France, les Services de Phares, se basant sur des expériences de laboratoire, avaient admis des durées d'éclat de 1/10 de seconde. Tous ont abandonné ces éclats trop courts et n'acceptent qu'exceptionnellement moins de 0,33 seconde pour les feux électriques d'une puissance très grande.

Il n'y a peut-être pas 25 feux électriques de ce genre dans le monde.

Digitized by Google

Il a été reconnu à la mer que, pour les intensités moyennes ou faibles, l'éclat instantané ne présentait pas les mêmes avantages que l'éclat augmentant, puis décroissant progressivement.

C'est ainsi que les éclats très brefs des éclipseurs à flamme nue d'acétylène sont moins perceptibles que des éclats produits par un manchon rendu incandescent par le gaz BBT ou tout autre gaz ; les deux sources ayant bien entendu sensiblement la même intensité.

On peut affirmer qu'à surface apparemment égale, avec des sources de même intensité, un appareil lenticulaire donne au début une intensité sensiblement égale à celle donnée par un réflecteur, mais au bout d'un certain temps l'appareil lenticulaire conservant tout son rendement devient bien supérieur à l'appareil à miroir.

Combien de fois a-t-il fallu redorer ou réargenter les miroirs de projecteurs ?

En outre, on peut, avec des lentilles, obtenir des surfaces apparentes plus grandes qu'avec les miroirs.

ANNEXE A LA NOTE DE M. BÉNARD

Appareils lumineux construits par la Société des Anciens Etablissements Barbier, Bénard et Turenne pour les besoins de l'Aviation.

D'après les indications des services techniques utilisateurs, les appareils lumineux nécessaires à l'aviation pour pouvoir effectuer dans de bonnes conditions les vols de nuit, peuvent se classer en cinq grandes catégories :

1° Les phares destinés au repérage de la route et des terrains d'atterrissage.

2° Les projecteurs destinés à éclairer l'emplacement des terrains d'atterrissage où les avions doivent atterrir.

3° Les feux accessoires tels que :

Tés lumineux indiquant la direction du vent pour permettre l'atterrissage suivant cette direction.

Digitized by Google

Feux d'autorisation et d'interdiction d'atterrissage indiquant si le terrain est libre ou occupé.

Feux de délimitation servant à indiquer les limites des terrains d'atterrissage et les feux indiquant les obstacles se trouvant aux abords immédiats du terrain.

4° Les projecteurs fixés sur les avions eux-mêmes, permettant l'atterrissage de nuit soit sur un terrain d'atterrissage dépourvu d'éclairage, soit en cas de panne sur un terrain quelconque, mais propre à l'atterrissage.

5° Les projecteurs servant à la recherche et à la défense contre avions (ces derniers appareils n'étant employés que par l'aviation militaire).

Suivant que ces appareils sont destinés aux aviations civile ou militaire, le matériel doit être différent pour répondre aux différentes exigences d'utilisation.

La Société Barbier-Bénard et Turenne s'est fait une spécialité de la fabrication de ses différents appareils, en les réalisant sous la direction des Services techniques et en les fournissant au monde entier depuis le début des vols nocturnes (Etude de l'aérophare de Maubeuge en 1912).

Il peut être cité les principales fournitures suivantes :

France. — Le phare du mont Afrique, d'une puissance lumineuse d'un milliard de bougies, qui est à l'heure actuelle le plus puissant phare du Monde (fig. 1).

Tous les appareils, phares et projecteurs en service régulier sur les terrains du Service de la navigation aérienne (aviation civile).

Comme phares, le Service de la navigation aérienne emploie des phares à éclats ou à éclipses. Comme appareils d'éclairage de terrain des projecteurs dioptriques (fig. 2) comme celui représenté sur la photographie ci-contre.

Les principaux terrains équipés avec nos appareils pour l'aviation civile sont les suivants :

Abbeville, Avignon, Berck, Beauvais, Le Bourget, Bordeaux, Carcassonne, Casablanca, Châtillon, Commercy, Dijon, Lyon, Marignane, Mâcon, Montélimar, Mulhouse, Maubeuge, Nancy, Nîmes, Oran, Perpignan, Poix, Romigny, Sarrebourg, Strasbourg, Saint-Inglevert, Saint-Dizier, Saint-Quentin, Saint-Rambert, Toulouse, Valenciennes.

Tous les phares employés par l'aviation militaire et la plus grande

Digitized by Google

partie des projecteurs d'éclairage de terrains (nous venons de terminer une commande de 40 projecteurs dioptriques destinés à l'aviation militaire).

Un grand nombre de phares pour le repérage des lignes exploitées

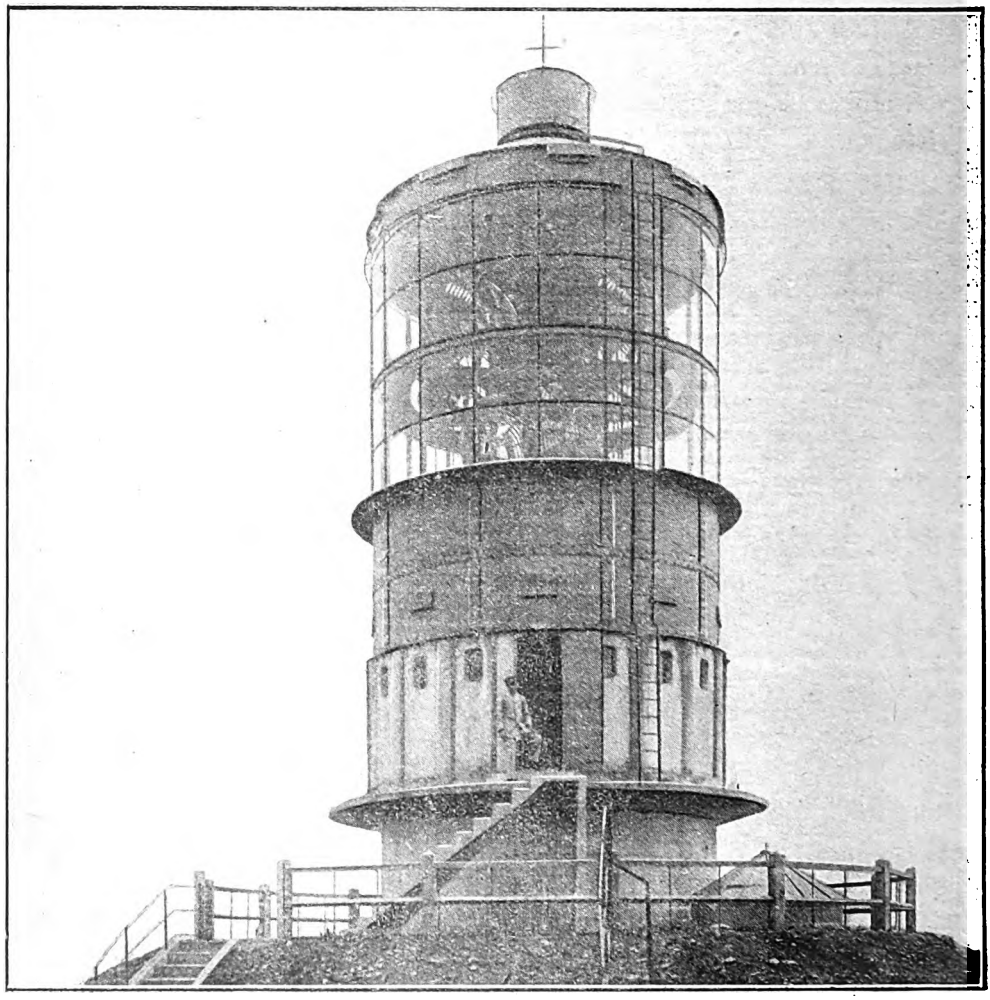


Fig. 1. — Phare du Mont-Afrique.

par les Compagnies aériennes, entr'autres la ligne de Paris à Constantinople, exploitée par la Compagnie Internationale de Navigation aérienne (ancienne Compagnie franco-roumaine).

Les phares fonctionnant sur cette ligne sont tous de la fabrication B. B. T.

Digitized by Google

Etats-Unis. — Nos appareils sont actuellement en service sur les terrains suivants :

Terrains de l'Air Mail : New Brunswick, N. J. ; Bellefonde, Pa ;

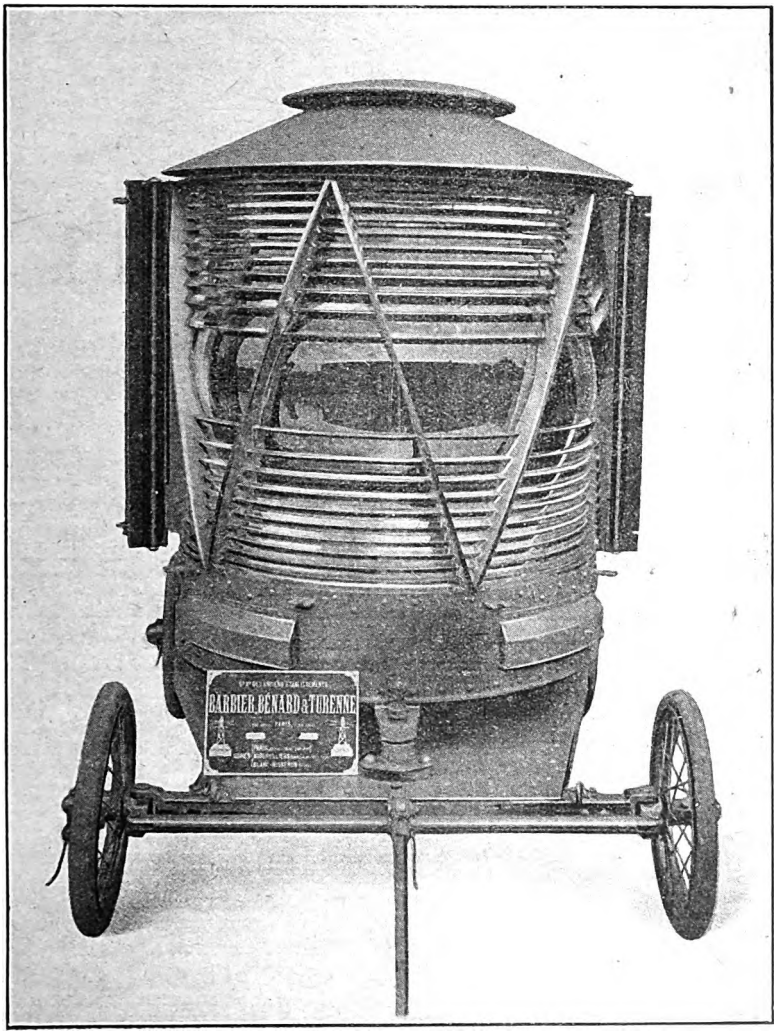


Fig. 2. — Projecteur dioptrique de terrain.

Bryan, Ohio ; Cleveland, Ohio ; Maywood, III ; Omaha, Nebr ; North Platte, Nebr. ; Iowa City, Iowa ; Des Moines, Iowa ; Cheyenne, Wyo; Salt Lake City Utah.

La Compagnie Nationale Air Transport Chicago : Oklahoma City, Okla, Dallas, Texas ; Moline, 111 ; Fort Worth, Texas.

Digitized by Google

L'Aéroport Ford, à Dearborn, Michigan.
L'Aéroport Municipal, Philadelphie.
La Marine des Etats-Unis.

Angleterre. — Le projecteur dioptrique pour l'éclairage du terrain de Croydon.

Italie. — 12 projecteurs dioptriques d'éclairage de terrains :

L'Esthonie, la Belgique, la Hollande, la République Argentine, le Siam, la Turquie, la Yougoslavie, l'U. R. S. S., le Siam, utilisent ce matériel.

Les phares fournis pour les aviations militaires sont des phares à éclipses à optique double, pouvant donner comme caractères toutes les lettres de l'alphabet Morse. Ils constituent un matériel très robuste et facilement transportable, pouvant se disposer sur remorque.

Ces mêmes phares sont utilisés par l'aviation civile, mais ils tendent à être remplacés par des phares à éclats du genre de celui installé par nous sur l'Aéroport du Bourget, de Villacoublay, Cuers, Pierrefeu, etc.

Les projecteurs dioptriques d'éclairage de terrains sont utilisés par les deux aviations, civile ou militaire, mais suivant leur emploi, ils sont montés, soit sur des remorques très légères, soit sur des remorques plus lourdes avec groupe électrogène.

Ces projecteurs dioptriques, dont la partie optique est en verre travaillé, se caractérisent par la production d'une nappe lumineuse de faible amplitude dans le plan vertical et soustendant 180° dans le plan horizontal.

L'amplitude de 180° dans le plan horizontal est très intéressante pour permettre l'atterrissage dans les deux cas :

soit en atterrissant parallèlement au projecteur dioptrique ;

soit en atterrissant en passant au-dessus de ce projecteur.

L'entretien de ces appareils est presque nul et aucune précaution spéciale pour le nettoyage n'est à prendre, ce qui est essentiel pour du matériel destiné à rester constamment exposé aux intempéries.

La source lumineuse de ces projecteurs est une lampe électrique à incandescence de 8 000 ou de 20 000 Bd dont le filament est constitué par deux groupes de filaments indépendants l'un de l'autre, ce qui donne toute sécurité au point de vue fonctionnement.

Les nombreuses installations faites par la Société Barbier-Benard et Turenne prouvent l'efficacité de leurs appareils.

Digitized by Google

II. Note de M. Blondel

La communication de M. Marsat expose d'une manière fort intéressante l'ensemble des problèmes d'éclairage que soulève la navigation aérienne. Elle m'incite à présenter, comme ingénieur de Phares, quelques courtes considérations résultant de mes études antérieures (1) et de mon expérience personnelle en matière d'aérophare. Tandis que, pour l'éclairage maritime, le marin demande que l'on concentre dans l'angle vertical le plus étroit possible (angle de divergence verticale), le faisceau de rayons qui partent du fanal et dont l'axe est tangent à l'horizon, le navigateur aérien réclame une signalisation à grand angle de divergence au-dessus de l'horizon, qui lui permette de se diriger vers le fanal et de reconnaître celui-ci en planant à une hauteur variable, pour laquelle on peut adopter pratiquement les limites de 1 à 2 km. Il y a cependant bien des points communs entre les deux espèces de signalisation.

En matière de signalisation aérienne comme de signalisation maritime, on peut utiliser, soit des signaux d'intensité constante, interrompus suivant un certain rythme, par extinction périodique de lumière, (extinction facile à réaliser si l'on emploie des lampes à incandescence électriques ou des flammes d'acétylène), ou par obturation, (réalisée par exemple avec les projecteurs munis de volets) ; soit des signaux à éclats, produits par des appareils tournants, qui concentrent le flux lumineux dans des directions voisines de certains méridiens.

Caractères des signaux intermittents. — J'avais préconisé (*loc. cit.*) la création de tout un réseau d'aérophares tournants, de grand atterrissage, se distinguant entre eux comme les feux-éclairs maritimes par groupements différents d'éclats brefs, égaux entre eux, plutôt que par des signaux Morse. Ceux-ci ne paraîtraient admissibles, que si les traits et les points étaient produits, avec des intensités lumi-

(1) A. Blondel. Aérophares et aéroprojecteurs signaux, *La Technique aéronautique*, 15 novembre 1913, page 289-300). Voir aussi deux brevets de 1913, cités plus loin.

Je laisserai de côté ici comme sortant de ma compétence, les questions d'ailleurs fort importantes d'éclairage de terrains d'atterrissage, pour lesquels j'ai autrefois proposé incidemment quelques solutions, par exemple la délimitation des terrains d'atterrissage par des sphères réfléchissantes (boules de jardin) ou diffusantes, que le navigateur éclairerait lui-même par un projecteur d'avion.

Digitized by Google

neuses différentes, telles que l'intégrale $\int (I - I_0)t$ du produit de l'intensité dépassant le seuil I_0 multipliée par le temps, intégrale qui d'après la loi connue, détermine la portée des éclats brefs, fût la même pour les traits que pour les points ; mais on ne peut le prédéterminer avec sûreté. Même si on le pouvait, encore faudrait-il tenir compte du fait que la durée utile d'impression d'un éclat long sur l'œil de l'observateur est limitée par la mobilité de l'œil à une fraction de seconde, fraction que nous connaissons mal, car elle varie suivant les observateurs. (1)

Dans les appareils éclipseurs, soit à lampe à incandescence électrique, soit à acétylène ou à incandescence par le gaz comprimé, qui produiront des éclats d'intensité constante et de longueurs différentes, les éclats auront des portées franchement différentes si la durée de certains d'entre eux est inférieure à la durée limite d'intégration des sensations lumineuses (qui peut atteindre 2 à 3 secondes, mais qui est réduite par la mobilité de l'œil). On se trouve donc pris dans le dilemme suivant : ou bien dans les signaux Morse, les points auont une durée de l'ordre de 1 à 2 dixièmes de seconde, tandis que les signaux longs seront de l'ordre de la demi-seconde ; et alors à grande distance, les éclats brefs disparaîtront avant les éclats longs ; ou bien, on ralentira la cadence, de manière que les points soient représentés par des signaux d'environ 3/10^e de seconde, et les traits par des signaux beaucoup plus longs, de l'ordre de la seconde ; mais alors, la mobilité de l'œil ne permettant pas de percevoir ceux-ci avec leur durée complète, la différence entre les signaux brefs et les signaux courts sera beaucoup moins nette.

Ces difficultés des signaux Morse sont élégamment écartées par la solution ingénieuse préconisée par M. Marsat, qui consiste à utiliser, pour ces signaux, des durées variables non pas d'éclats, mais d'éclipses, ménagées entre des éclats de longueur uniforme.

Mode de construction des appareils. — Examinons successivement les deux modes de construction des appareils qui réalisent les signaux intermittents :

(1) D'après l'interprétation faite par M. J. Rey des statistiques de visibilité des phares publiées par le Service des Phares français, la durée maxima de fixité de l'œil serait de 0,4 seconde, tandis que, d'après les observations de M. Van Vloten, directeur des Phares hollandais, elle serait de 0,7 seconde.

L'écart peut tenir peut-être à la différence de tempéraments des marins français et hollandais, ces derniers plus flegmatiques ayant sans doute une moins grande mobilité de l'œil.

Digitized by Google

A. — *Feux fixes à éclipses.* — Ces feux exigent des lampes puissantes de l'ordre de 5 000 W, si l'on veut obtenir un éclairage suffisant de l'atmosphère, pouvant atteindre de 3 à 4 000 Bd au zénith et jusqu'à 10 000 à l'horizon. On a avantage d'ailleurs à employer dans ce cas, comme les Etablissements Barbier, Bénard et Turenne, deux lampes superposées, dont l'une éclaire dans un certain angle l'horizon et l'autre le zénith pour que l'aviateur puisse reconnaître le feu quand il passe au-dessus de lui.

Au lieu d'un appareil dioptrique, on pourrait employer un miroir sidéral-torique, dont la surface est engendrée par la rotation d'une parabole autour d'un axe vertical passant par le foyer, en donnant à l'axe de la parabole un angle de braquage convenable au-dessus de l'horizon. M. Brandt paraît avoir envisagé une solution de ce genre.

L'idéal serait d'éclairer l'atmosphère supérieure par une source ou un appareil dont l'intensité lumineuse se rapprocherait de la loi $i = \frac{I}{\cos^2 \alpha}$, en appelant α l'angle de la direction des rayons émis par rapport à la verticale.

B. — *Feux à éclats tournants.* — Deux types de solution ont été essayés comparativement : les faisceaux méridiens et les faisceaux coniques.

1° *Appareils à faisceaux méridiens.* — Pour les spécialistes des phares, il paraissait particulièrement intéressant de résoudre le problème théorique consistant à réaliser des faisceaux méridiens de grande puissance, mais éclairant chacun le ciel dans un certain angle d'azimuth de l'horizon jusqu'au zénith avec une intensité convenable décroissante. J'ai décrit antérieurement (*loc. cit.*) divers dispositifs optiques dioptriques et catoptriques qui peuvent être utilisés dans ce but :

a) *Des appareils dioptriques* obtenus en faisant tourner un profil de Fresnel, à anneaux dioptriques et catadioptriques (de même profil que pour un feu de direction) autour d'un axe de révolution passant par le foyer et perpendiculaire à l'axe focal ordinaire du profil ; on limite un tel appareil à un plan horizontal, représenté par un miroir plan, renvoyant toute la lumière émise par la source au-dessus de ce plan. Au lieu d'un appareil à un seul anneau, on peut, en coupant

Digitized by Google

celui-ci par des plans diamétraux, obtenir plusieurs panneaux de feu à éclats, dont chacun envoie dans le ciel un pinceau embrassant un plan méridien et d'autant plus étroit que la source de lumière employée est elle-même de plus petit diamètre. Pour avoir les faisceaux les plus étroits, on peut avantageusement employer les lampes à incandescence à filament vertical rectiligne, comme l'a indiqué M. MARSAT.

b) *Des appareils catoptriques*, à faisceaux méridiens de 90° d'ouverture.

Un réflecteur cylindrique vertical à génératrice parabolique est terminé à sa partie inférieure, soit par un miroir plan situé au-dessous de la source, soit par un second réflecteur cylindrique parabolique, se raccordant au premier par une calotte de tore ayant la même génératrice parabolique.

J'ai indiqué (1) plusieurs modes de groupement qui permettent, soit d'utiliser complètement le flux lumineux de la lampe sous forme de flux concentré, en ajoutant, si l'on veut, dans le secteur mort un réflecteur sphérique pour renvoyer les rayons sur le miroir ; soit d'utiliser seulement la moitié du flux au moyen de segments de tore parabolique, placés sous la source de lumière recueillant le flux hémisphérique inférieur, et le renvoyant dans l'hémisphère supérieur du ciel, suivant un certain nombre de faisceaux concentrés, auxquels s'ajoute le rayonnement direct de la lampe dans toute l'hémisphère. Ces dispositifs sont étudiés de manière à réaliser des éclats le plus concentré possible en azimuth, de façon à obtenir le rendement maximum du flux lumineux de la source de lumière, suivant les principes que j'ai préconisés dès 1893 au Congrès de Navigation de Londres. A cette époque, après des recherches exécutées au Service central des Phares, j'avais montré l'opportunité de réduire les éclats à une durée égale au plus au dixième de seconde ; des recherches plus complètes, faites en collaboration avec M. REY, nous ont permis d'éta-

(1) Cf. *Revue Science et Art de l'Eclairage*, année 1914 (revue qui, par suite de la guerre et de la mort de son rédacteur en chef, M. Chasseriaud, tué glorieusement à l'ennemi, a cessé de paraître), et mes deux brevets belges des 9 septembre et 7 octobre 1913 pour « appareils de signalisation, pour l'orientation nocturne des navigateurs aériens ».

Digitized by Google

blir la loi Blondel-Rey (1) qui fait apparaître un facteur d'amplification bien plus important encore en faveur des signaux brefs et sans limite inférieure pour la durée d'éclats.

a) On peut disposer, autour de l'axe de rotation de l'appareil, une série de réflecteurs de ce genre, en supprimant les parties qui se chevauchent, de façon à réaliser le nombre d'éclats que l'on veut. J'indiquais plusieurs modes de groupement qui permettent d'utiliser complètement le flux lumineux, en ajoutant, si l'on veut, dans le secteur mort un réflecteur sphérique pour renvoyer les rayons sur le miroir (1).

b) un appareil formé de segments de tores paraboliques placés sous la source de lumière, recueillant le flux lumineux hémisphérique inférieur, et le renvoyant dans l'hémisphère supérieure du ciel, suivant un certain nombre de faisceaux concentrés, auxquels s'ajoute le rayonnement direct de la lampe.

Comme exemples de réalisation d'aérophares éclairant tout un méridien, je peux citer deux appareils :

a) un appareil dioptrique fourni au service des phares hollandais par la maison Barbier, Bénard et Turenne, appareil qui est placé au-dessus d'un appareil de feu maritime, après remplacement de la coupole métallique de la lanterne par une coupole transparente en verre. Je n'ai pas de renseignements sur les résultats donnés par cet appareil qui est soumis aux mêmes difficultés de contraste que le suivant.

b) le dispositif catoptrique qui a été réalisé par les établissements Sautter-Harlé pour le Service des Phares sur les plans établis par ce dernier suivant mes directives. Cet appareil a été installé au phare de Gris-Nez, de préférence à un appareil dioptrique, par suite de son faible encombrement et de la possibilité de le loger dans une cuve métallique fermée par une dalle de verre bombé, le tout disposé au sommet de la coupole existante du feu maritime. Il est formé de 4 tronçons de miroirs toroïdaux à génératrices paraboliques, tournant autour d'un axe passant par le foyer, assemblés suivant des plans diamétraux verticaux passant par le foyer commun ; l'ensemble se présente comme une demi-orange, comprenant quatre quartiers seulement.

(1) Cf. A. Blondel et J. Rey, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, tome 142 (1911), page 1571.
Journal de physique, nos de juillet et août 1911, et *Proc. of the Society, of illuminating engineers*, tome 1914.
Enfin, *la Lumière électrique*, tome 1916, et *Comptes rendus*, tome 162 (1916), page 861.
(2) Ce type d'appareil a été réalisé par la Société Pintsch et par les Etablissements Barbier, Bénard et Turenne.

Digitized by Google

L'appareil est éclairé par une lampe à atmosphère gazeuse de 1 000 Bd (Philips) à filaments concentrés en forme de tronc de cône étroit autour d'un axe vertical, de façon à réaliser des éclats très courts, pour les motifs développés plus loin.

Les mesures photométriques ont donné pour l'intensité lumineuse de l'appareil un maximum de 18 000 Bd sous l'incidence la plus voisine de l'horizon, la lampe étant placée un peu au-dessous du plan diamétral qui limite l'appareil, et de 2 000 Bd au zénith (1). Ces puissances lumineuses sont théoriquement plus que suffisantes pour éclairer parfaitement le ciel pour des aviateurs passant à 3 000 m au-dessus du phare.

La visibilité serait parfaite si le phare maritime était éteint pendant les signaux de l'aérophare. Mais les expériences ont montré que les faisceaux du phare maritime, dont l'intensité est très considérable (20 millions Bd au maximum) donnent dans l'atmosphère un éclairement diffus très fort ; et l'effet de contraste bien connu produit par cette lumière diffuse, fait fermer la pupille de l'œil de l'observateur, et affaiblit ainsi considérablement la perception des faisceaux méridiens de l'aérophare, situé au-dessus. De cette expérience, on a conclu qu'un aérophare de ce genre devrait être installé isolément. Pour éclairer le ciel au-dessus d'un phare maritime, il faudrait réaliser des faisceaux d'une intensité égale au vingtième, peut-être même au dixième, de l'intensité des faisceaux maritimes, et par conséquent installer au-dessus du feu maritime, un appareil aussi important que celui de ce phare. On est ainsi conduit à préférer la solution exposée plus loin.

2° *Appareils à faisceaux coniques.* — A la suite de la guerre, les constructeurs spécialistes de phares ont proposé et fait adopter par les services d'aviation, la solution qui consiste à éclairer, non pas tout le méridien, mais seulement la partie voisine de l'horizon, par des faisceaux concentrés : c'est un système de feu à éclats, dont on relève les faisceaux au-dessus de l'horizon d'un certain angle de braquage, dont les spécialistes ont discuté la grandeur (2).

---

(1) Bien qu'ils n'utilisent que 60 à 70 pour cent de la lumière totale de la lampe, ces faisceaux sont aussi puissants que ceux d'une coupole dioptrique de même diamètre.

(2) M. Marcotte a breveté un tel système dans lequel l'angle de braquage est rendu périodiquement variable par un mécanisme qui imprime aux panneaux

Digitized by Google

On a, dans cet ordre d'idées, établi à Dijon un phare tournant constitué de plusieurs panneaux de direction, éclairés chacun par une lampe à arc, appareil construit par la maison Barbier, Bénard et Turenne et au Mont Valérien, un aérophare construit par les Etablissements Sautter-Harlé, et constitué par deux projecteurs tournants dont on peut modifier la distance angulaire et aussi l'angle de braquage des faisceaux par changement de hauteur de l'axe ; chacun d'eux contenant en outre un petit miroir supplémentaire, qui renvoie vers le haut une partie du faisceau pour que l'aviateur sache quand il est au-dessus du phare (1).

Dans ces deux types d'appareils, qui ont des puissances et des encombrements différents, on peut faire varier à volonté l'angle d'épanouissement de chaque faisceau tournant en exfocalisant plus ou moins la source de lumière ; dans le cas du projecteur, on peut relever ou abaisser le faisceau sans réduire la concentration ; avec un appareil à lentilles, cette dernière manœuvre est possible, seulement si on supprime les anneaux catadioptriques.

L'expérience démontre que les portées peuvent être considérables, grâce à la concentration, qui se fait autour d'un axe au lieu d'un plan méridien complet. Cette deuxième solution paraît donc s'imposer pour les feux puissants, tandis que la solution des faisceaux méridiens conserve tout son intérêt pour les feux secondaires.

3° Quand on voudra utiliser comme aérophares les grands phares maritimes, il suffira de renvoyer 1/20e ou 1/10e du flux lumineux des faisceaux maritimes dans une direction de 3 à 5° au-dessus de l'axe des faisceaux d'horizon ; il sera très facile d'obtenir cette déviation au moyen de prismes à arêtes droites horizontales et de hauteur

---

d'une optique à éclats des oscillations pendulaires autour de charnières placées au sommet de chaque panneau. Malheureusement, cette oscillation périodique fort ingénieuse, modifie constamment les conditions de perception du feu et risque de réduire le temps pendant lequel l'aviateur peut percevoir les éclats, tout en supprimant la notion d'intervalle fixe des éclats, si utile pour l'aviateur.

(1) Dans les projecteurs, la lumière diffusée par la plaque de verre qui ferme l'enveloppe joue un rôle beaucoup plus important qu'on ne le croit souvent ; c'est elle qui permet à un navigateur aérien qui ne plafonne pas à une altitude excessive, de rencontrer la lumière bien au-dessus des limites du faisceau conique proprement dit, dont la divergence a été déterminée d'après la direction de l'aviateur qui vole à la hauteur maxima prévue, et qui commence à voir la flamme directe de l'arc. De même, c'est à la lumière diffusée par sa dalle de verre supérieure que l'aérophare de Gris-Nez doit de donner une intensité de 21000 Bd dans la direction du zénith, où cependant la lampe est occultée par son support aussi bien que le faisceau réfléchi par le centre de l'appareil.

Digitized by Google

appropriée fixés, soit sur les panneaux de l'optique tournante (extérieurement de préférence), soit contre le vitrage de la lanterne sur le parcours d'une partie convenable du faisceau.

On emploiera un ou plusieurs prismes de ce genre, en leur donnant un angle au sommet convenable, pour produire l'angle de braquage désiré vers le haut, par exemple un angle de 20° produira un angle de relèvement du faisceau de 10°, et un angle de 10° un relèvement d'environ 5°. On pourrait se contenter de modifier le calage de quelques anneaux catadioptriques, mais le faisceau relevé serait moins homogène.

Les pertes de flux de 1/10e ou 1/20e, qui ne modifient pas beaucoup d'ailleurs la portée du phare maritime, peuvent toujours être compensées par une augmentation de puissance correspondante des lampes employées.

Enfin, on pourra avantageusement, pour éclairer le zénith lui-même, vitrer le sommet central de la coupole, ou ajouter au-dessus d'elle un petit projecteur sphérique, à axe vertical, contenant une lampe de quelques centaines de watts.

La comparaison entre les appareils optiques en verre du type dioptrique et catadioptrique, et les miroirs, en verre ou métalliques, qui a été bien souvent exposée suivant des points de vue opposés, est une question très complexe, qui dépend grandement des applications que l'on veut faire et des desiderata qu'on peut avoir au point de vue de la portabilité, des conditions d'entretien, du prix d'achat. C'est ce qui peut expliquer les divergences de vues. Celles-ci sont encore accrues si on compare entre eux des appareils qui ne sont pas réellement comparables, soit parce qu'ils datent d'époques fort différentes, soit parce qu'ils ne se prêtent pas à l'emploi de la même source lumineuse.

A égalité de flux lumineux *utilisé*, les miroirs ont une supériorité par suite de l'homogénéité du faisceau, bien meilleure que celle des appareils dioptriques ; c'est ce qui explique que, depuis longtemps on n'emploie plus, dans les projecteurs de l'armée et de la marine, que des miroirs, soit en verre argenté, soit métalliques.

Quand la source lumineuse employée donne un flux qui n'est pas utilisé aussi complètement par les miroirs que par les appareils dioptriques, le rendement de l'appareil lenticulaire dépend dans une

Digitized by Google

large mesure du rapport entre les flux émis respectivement par la partie dioptrique (qu'on peut tailler avec assez de soin pour donner une bonne image de la source et par conséquent un faisceau convenablement concentré) et par la partie catadioptrique, formée d'anneaux dont l'exécution et la mise en place reste plus imparfaits ; c'est pourquoi, j'ai toujours préconisé, sans trop m'attacher à la comparaison des rendements théoriques, d'augmenter le plus possible, jusqu'à l'angle de 90°, par exemple, la partie dioptrique des appareils de phares.

Pour ces motifs, j'estime que toutes les fois qu'on veut comparer les appareils dioptriques et les appareils à miroir, on doit recourir à l'expérience, c'est-à-dire à des mesures photométriques et à des mesures de portée, comme au seul critérium certain, que ne peuvent remplacer les discussions *à priori*.

Brièveté des éclats. — Tous les dispositifs qui précèdent doivent être étudiés de manière à réaliser des éclats le plus concentré possible en azimuth, de façon à obtenir le rendement maximum du flux lumineux de la source de lumière, suivant les principes rappelés plus haut (durées de l'ordre du 1/10e de seconde).

Le Service des Phares a augmenté maintenant la durée d'éclats jusqu'à des temps plus longs, dépassant 3/10e de seconde ; mais, ainsi que je l'ai exposé en détail, il y a plusieurs années à l'Académie des Sciences (1), cette modification n'infirme en rien le principe de supériorité des éclats brefs et s'explique tout simplement par le fait que le Service des Phares a procédé au renforcement de ses feux par deux étapes successives : la première ayant pour objet de tirer, suivant la loi qui précède, le meilleur rendement possible d'*une source de lumière donnée*, en affectant à l'appareil optique qui tourne autour de cette source un petit nombre de panneaux et une vitesse de rotation assez grande pour que chaque panneau contienne le flux le plus grand possible et le plus concentré pendant le temps le plus court possible. Ensuite, ayant installé ces appareils, on a constaté que si l'on y plaçait des sources de même brillance que celles connues antérieurement, mais plus volumineuses et permettant d'augmenter ainsi la durée de l'éclat, la portée des feux se trouva encore augmentée.

(1) Cf. *Comptes rendus*, tome 162 (1916), page 453.

Digitized by Google

Cela n'est nullement en contradiction avec ce qui précède. Car la seconde opération est faite pour utiliser au maximum un *appareil donné ;* l'augmentation de portée ainsi obtenue l'a été au prix d'une augmentation de la dépense d'énergie annuelle.

Rien n'empêcherait maintenant de procéder à une troisième étape, si on le voulait, en conservant la source de grande puissance et en remplaçant l'appareil optique qui l'entoure par un appareil optique de plus grande distance focale, qui ramènerait la durée des éclats à un dixième de seconde, au lieu de 4 à 5 dixièmes de seconde ; le résultat serait encore une augmentation de portée, parce que les éclats brefs donneront le maximum de rendement de la nouvelle source de lumière (1).

Quand on veut serrer de près le problème des phares aériens, aussi bien que maritimes, on doit finalement rechercher le maximum de portée qu'on peut réaliser au prix d'une *dépense annuelle totale* donnée, représentant les dépenses pour l'entretien de la source éclairante et pour l'intérêt et l'amortissement du capital dépensé pour la construction de l'appareil optique et de la lanterne qui le contient.

---

(1) Tous ceux qui ont douté de la supériorité des éclats brefs ont été convaincus « de visu », comme Saint Thomas, quand ils ont pris la peine de répéter avec nous les expériences sur un petit phare de laboratoire, ayant comme source de lumière une lampe électrique à filament vertical et une série de lentilles successives de même ouverture et donnant des images de largeur différente sur un petit trou aménagé dans un écran opaque, qui apparaît aux yeux de l'observateur, situé à une distance convenable, comme l'éclat lumineux périodique d'un phare maritime.

Digitized by Google

Séance du Mercredi 27 octobre 1926.

3° SECTION. — ÉLECTROCHIMIE. — ÉLECTROMETALLURGIE.

Sommaire :

1° Discussion du rapport de MM. Bunet et Bergeon sur les fours d'électrochimie. — MM. Genkin, Darrieus : facteurs de puissance primaire et secondaire d'un transformateur pour fours, p. 212.

2° Discussion du rapport de M. Curmer, sur la situation des industries du carbure de calcium et de la cyanamide. — M. Bunet : fours à arc et fours à résistance, p. 214. M. Darrieus : évaluation du facteur de puissance dans le four à 100 000 A, p 217.

3° Discussion du rapport de M. Levasseur sur l'utilisation des fours électriques dans la fonderie des alliages et métaux non ferreux. MM. Mariés, Vuigner : fours à induction, p. 217. — MM. Gutmann, Mariés Cordier : fours à haute fréquence, p 221. — Établissements Marshall : fours Morgan, p. 222.

4° Présentation du rapport de M. Levasseur sur le potentiel de décharge et les sels complexe en métallurgie électrique, p. 223.

5° Discussion de la communication de M. Jumau sur les accumulateurs Ironclad. — MM. Gasquet, Girault : véhicules à accumulateurs, p. 223.

6° Discussion de la note de M. Féry sur la théorie des accumulateurs ou plomb. — MM. Jumau, Bichet : objections à la théorie de M. Féry; expériences à faire, page 227.

7° Discussion du rapport de M. Sarrot du Bellay sur les installations électrolytiques de production d'hydrogène. — M. Bunet : importance des gazomètres nécessaires, p. 228.

8° Errata aux rapports insérés dans les bulletins d'août et septembre 1926, p. 229.

Présidence de M. Bunet.

M. Bunet prie M. Cordier de le remplacer à la présidence et résume le rapport qu'il a présenté en collaboration avec M. Bergeon sur *les fours d'électrochimie* (1).

M. Genkin. — Je serais désireux de faire une remarque sur la formule de passage qui lie les facteurs de puissance mesurés au primaire et au secondaire du même transformateur.

De toutes les méthodes indiquées par les auteurs, celle basée sur les bilans des puissances active et réactive me paraît conduire au résultat le plus rapidement.

L'établissement de la formule est très simple

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série, Tome VI, n° 60, août 1926, p. 873.

Digitized by Google

Désignons par P_a et P_r les pertes en puissances active et réactive intervenant dans la transformation et écrivons les deux équations suivantes exprimant la loi de conservation des puissances :

$$E_2 I_2 \sin \varphi_2 = E_1 I_1 \sin \varphi_1 - P_r$$
$$E_2 I_2 \cos \varphi_2 = E_1 I_1 \cos \varphi_1 - P_a.$$

Au lieu de chercher à en tirer la valeur de $\cos \varphi_2$, il me semble préférable d'établir l'expression de la tangente φ_2.

En divisant membre à membre les égalités précédentes on a immédiatement :

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\sin \varphi_1 - p_r}{\cos \varphi_1 - p_a}$$

où p_r et p_a sont les pertes active et réactive relatives rapportées à un volt-ampère.

Si on désigne par r_{cc} la résistance efficace mesurée en court-circuit et par I_{oa} la composante active du courant à vide, la perte relative p_a a pour expression :

$$p_a = \frac{r_{cc} I_1^2}{E_1 I_1} + \frac{E_1 I_{oa}}{E_1 I_1} = \frac{r_{cc} I_1}{E_1} + \frac{I_{oa}}{I_1}.$$

En désignant par x_{cc} la réactance mesurée en court-circuit et par I_{or} la composante réactive du courant à vide, on obtient une expression analogue à la précédente pour la perte réactive p_r

$$p_r = \frac{x_{cc} I_1}{E_1} + \frac{I_{or}}{I_1}.$$

Si on désigne par ε_a et ε_r les chutes de tension dans la résistance r_{cc} et la réactance x_{cc} exprimées en centièmes de la tension normale, et par i_a et i_r les composantes active et réactive du courant à vide exprimées également en centièmes du courant normal, la formule de la tangente prend la forme définitive suivante :

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\sin \varphi_1 - 100(\varepsilon_r + i_r)}{\cos \varphi_1 - 100(\varepsilon_a + i_a)}.$$

Pour un transformateur donné, toutes les valeurs figurant dans cette expression sont connues. Le calcul numérique fournissant $\operatorname{tg} \varphi_2$ est donc d'une extrême simplicité. Le facteur de puissance s'en déduit ensuite par la formule trigonométrique connue.

Pour terminer, je crois utile de faire remarquer que les méthodes indiquées dans le mémoire de MM. Bergeon et Bunet, supposent toutes trois l'existence des coefficients d'induction et que, de ce fait, elles devraient conduire toutes trois à la même approximation dans le résultat final.

Digitized by Google

L'erreur principale provient de la saturation du circuit magnétique dont on ne tient pas compte et, comme la loi de la superposition des régimes à vide et en court-circuit cesse d'être valable dans ce cas, la correction n'est pas aisée et ne peut se faire que par des procédés graphiques assez complexes.

M. DARRIEUS. — La séparation de la réactance de fuites d'un transformateur en deux parts afférentes, l'une au primaire, l'autre au secondaire, nous paraît illusoire et n'avoir pas de sens physique. On peut cependant, au moins dans les transformateurs à enroulements concentriques, chercher à établir une séparation un peu arbitraire sur la base de l'identification du flux commun aux deux enroulements avec le flux dans le fer. En ce cas, le flux de fuites de l'enroulement intérieur est nul et tout le flux de fuites totales est à imputer à l'enroulement extérieur. Mais en général, du point de vue des mesures, il n'existe qu'une réactance de fuites totales, ramené à l'un ou à l'autre enroulement.

M. CURMER a écrit : « l'emploi des fours à arc est abandonné. En munication de M. CURMER (1) qui est un résumé de la *situation des industries du carbure de calcium et de la cyanamide* et dans laquelle il a donné un certain nombre de résultats.

M. CURMER a écrit : « l'emploi des fours à arc est abandonné ». En effet, le carbure formé y était en quelque sorte dissocié par l'irrégularité de la chauffe : d'où diversité de la matière, dépense exagérée d'électrodes, dégagement de fumées nocives, etc... »

Quand on prépare le carbure de calcium, il y a deux modes opératoires devenus extrêmement nets. Dans un four à une électrode verticale mobile et une électrode horizontale fixe, alimenté en monophasé, que nous prenons comme exemple, on charge le mélange de chaux et de charbon et on fait couler le carbure de calcium. L'électrode supérieure plongeant dans la couche de carbure liquide qu'on maintient au fond du four, c'est ce carbure fondu lui-même qui sert de résistance, au moins pour les 80 centièmes. En pratique, cela conduit à opérer avec 35 à 50 volts entre électrodes ; on ne peut aller trop haut, car il faudrait laisser trop de carbure liquide, ce qui rendrait le

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série. Tome VI, août 1926. page 914.

Digitized by Google

fonctionnement instable puisque, s'il se refroidit par baisse de courant, sa résistance augmente, d'où une nouvelle baisse du courant.

Mais on peut sortir l'électrode supérieure du carbure liquide ; le courant passe alors partiellement au travers de la charge, surtout au travers de son charbon, avec des arcs entre les morceaux. Dans ce cas, on peut monter à 100 volts entre électrodes.

Il se trouve qu'en France tous les fours sont du premier type, soit des fours à résistance marchant à une faible tension. J'ai d'ailleurs eu déjà occasion de parler de cela dans le rapport que je fis il y a deux ans.

M. CURMER cite, comme exemple, la grande installation américaine de Muscle Shoals ; mais là on emploie, non pas le four à résistance, mais le four à arc et une tension élevée selon la pratique américaine. C'est tellement caractéristique que Stansfield qui a écrit un des meilleurs ouvrages sur les fours, dit, à l'inverse de M. CURMER : Les fours à carbure sont des fours à arc, et il ajoute quelque chose comme : mais j'ai entendu dire qu'en Europe ils sont à résistance.

Revenant à ces fours de Muscle-Shoals, usine faite pendant la guerre par le Gouvernement américain, qui a été abandonnée plus ou moins, puis reprise, arrêtée..., ces fours dis-je, représentent le type américain probablement réputé le meilleur, et ont, paraît-il, bien fonctionné. Ils sont de 6 000 kilowatts et triphasés avec trois électrodes verticales et la sole au neutre. Il y a ainsi trois zônes de réaction séparées. Ils sont alimentés par des transformateurs dont la tension secondaire, en supposant la tension primaire constante, peut varier de 130 à 190 volts, étant normalement de 160 volts. Sur chaque zône de réaction, entre une électrode verticale et l'électrode neutre horizontale, il y a ainsi normalement 92 volts, et les prises de courant de réglage amènent de 75 à 110 volts. Ces fours fonctionnent à 60 périodes par seconde, avec un facteur de puissance de 0,84 à 0,87. La tension est donc double de celle que requièrent les fours à résistance ordinaires.

Je n'ai jamais vu marcher ces grands fours à arc. J'ai essayé de me renseigner sur leur fonctionnement et notamment sur leur comparaison avec les fours français. En ce qui concerne la production, on a relevé, à Muscle-Shoals, une consommation de 3 270 kilowatts-heures par tonne, à 86 pour cent de pureté. M. CURMER nous donne 2 tonnes par cheval an ; en traduisant, nous trouvons 3 225 kilowatt-heures par tonne, c'est la même chose.

Digitized by Google

Pour la pureté et les électrodes, j'ai eu l'occasion d'écrire au chef d'un important service américain. Il me répondit : « Il est peut-être vrai qu'un carbure de meilleure pureté est obtenu à tension faible dans des fours monophasés à une seule électrode ; nous en doutons et croyons que nos grandes compagnies ne sacrifient pas le côté chimique au côté électrique... En ce qui concerne la consommation d'électrodes, nous avons trouvé qu'elle décroît pour la même puissance lorsque la tension croît. »

On ne peut donc trouver d'opinions plus contraires que celles que nous voyons exprimées de côté et d'autre de l'Atlantique. Je crois me rendre compte d'où vient cette divergence : En France, l'électricien et surtout le constructeur électricien sont assez mal traités. Tout le monde commence généralement par prendre ses aises ; ceci fait, on pose la question au constructeur électricien. C'est à lui de s'arranger ; s'il fait des objections, il n'a pas la commande, et il tient à l'avoir, et ses concurrents aussi. On est ainsi amené à des solutions qui ne sont pas toujours très raisonnables.

Il est plus commode à un fabricant de carbure d'avoir des fours monophasés ; il demande des installations avec 40 000, 50 000 ampères. M. BERGEON nous a parlé de fours, d'ailleurs très remarquables, allant à 120 000 ampères.

Le choix du four fait, le fournisseur de courant doit s'en arranger avec le facteur de puissance qui en résulte et les inconvénients des fours monophasés quant aux déséquilibrages. Le constructeur de matériel électrique vient ensuite.

En Amérique, au contraire, le constructeur a pris une place importante; il résiste et ne veut pas entreprendre, sans discussion, des choses lui paraissant trop difficiles, ou aléatoires, ou inutiles. C'est l'exploitant qui doit plutôt s'arranger pour utiliser le matériel qu'il peut normalement se procurer. Telle est au moins la règle générale, avec ses exceptions naturellement. De cette collaboration plus étroite entre les parties en présence, résultent les fours américains, triphasés pour réduire les déséquilibrages, à forte tension pour réduire les courants entraînant de coûteux conducteurs, des pertes supplémentaires dans les circuits et les transformateurs, ces derniers bien plus difficiles à construire quand on atteint 30 000, 40 000, 50 000 ampères.

Il est d'ailleurs évident, comme le remarque M. CURMER, qu'un four à résistance fonctionne plus tranquillement qu'un four dans lequel le courant se propage par des arcs, des résistances de contact,

Digitized by Google

tout cela plus ou moins variable. La puissance et le courant absorbés tendent à varier beaucoup plus ; on produit aussi plus de fumées et de poussières en général. Ces inconvénients peuvent s'atténuer ou disparaître par une meilleure étude de l'appareillage et de l'outillage, en particulier en employant des régulateurs de puissance et de courant perfectionnés qui sont, croyons-nous beaucoup plus développés aux Etats-Unis.

M. DARRIEUS. — Le cas du four de 100 000 ampères de Saint-Julien de Maurienne, où le courant est amené à un grand nombre d'électrodes disposées circulairement par autant de circuits disposés dans des plans méridiens, se prête, au moins dans le cas limite où tout le système peut être considéré comme de révolution, à une évaluation très simple du facteur de puissance. En pareil cas en effet, le champ magnétique, nul à l'extérieur du volume en forme de tore qui a pour méridienne un circuit élémentaire, est simplement, à l'intérieur, en raison inverse de la distance à l'axe, suivant la simple loi de BIOT et SAVART appliquée au conducteur tubulaire indéfini que formeraient les électrodes indéfiniment prolongées.

Le calcul, direct ou graphique, de l'intégrale, étendue à tout le volume intérieur du four, de l'énergie électromagnétique moyenne $\frac{\mathcal{H}_{ff}^2}{8\pi}$ par unité de volume est dès lors aisé à effectuer ; et son produit par 2ω ou $4\pi f$ donne directement la puissance magnétisante $\omega l I^2$ consommée par la réactance ωl.

M. LEVASSEUR résume son rapport sur l'*utilisation des fours électriques dans la fonderie des alliages et des métaux non ferreux* (1).

M. le Président, en remerciant M. LEVASSEUR, lui exprime le désir de lui voir apporter chaque année, à la semaine de discussions, des renseignements sur les résultats obtenus avec les nouveaux fours, notamment avec les fours à induction.

M. MARIES. — J'ai eu l'occasion de faire, pour la Compagnie Générale d'Electricité, des voyages d'études en Italie, en Allemagne, en

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série, Tome VI, n° 60, août 1926, p. 893.

Digitized by Google

Suède, en Angleterre. Ce que j'ai vu me permet de préciser les quelques points suivants :

1° M. LEVASSEUR nous disait qu'au point de vue sidérurgique, le four à induction était encore un peu dans les limbes. Cependant, le four Röchling-Rodenhauser fonctionne de façon parfaite et permet l'affinage de l'acier à un prix tel que les aciéries Röchling fournissent la moitié de la consommation française en aciers spéciaux. Le four FRICK épure l'acier d'une façon telle qu'il permet aux aciéries Poldi de faire l'acier spécial presque au prix de l'acier Martin.

2° Les fours à arc indépendant sont déjà utilisés à la fusion des métaux non ferreux. En Suède, à la Société Métallurgique de Vasterâs, trois fours Rennerfelt font l'épuration du cuivre. Ils produisent un métal excellent tout à fait comparable à celui qu'on reçoit d'Amérique.

3° Les fours Ajax-Wyatt sont incontestablement les fours les plus répandus. Sont-ils les meilleurs ? Je crois que ce point est encore en discussion. En tous cas, ce four a des concurrents ; à Cologne, le four « Russ » de l'Industrie-Elektroofen donne d'excellents résultats. Il est basé sur l'emploi d'un secondaire en forme d'hélice pour lequel un brevet a été obtenu il y a quelques mois seulement. On y emploie aussi le four Frick. Ces fours entrent dans le domaine pratique pour les métaux non ferreux. Le four de l'Industrie Elektroofen a des références remarquables à Mansfeld, il va en avoir chez nous. Nous avons installé un four de 60 kW à notre usine de Boisthorel où il fonctionne depuis une quinzaine de jours et donne de fort bons résultats.

4° Pour les fours à haute fréquence, M. LEVASSEUR nous parlait des difficultés qu'il y a à obtenir cette haute fréquence et à réaliser l'étincelle. J'ai vu au Laboratoire de Meudon un four très intéressant d'un ingénieur français M. DUFOUR, où l'étincelle est produite par un éclateur rotatif très ingénieux avec soufflage à l'air comprimé. Or, le dispositif complet n'est pas compliqué et par conséquent échappe au grief que faisait tout à l'heure M. LEVASSEUR.

5° Enfin, pour le four à basse fréquence et à induction, M. LEVASSEUR nous disait qu'en France, il viendrait peut-être. Mais, il y est déjà. Sans parler du four bien connu de la Compagnie Française des Métaux, plusieurs autres Sociétés ont employé le four à induction Ajax. En Italie, les Tréfileries du Havre ont installé trois fours Ajax, d'autres sociétés l'ont fait aussi. Nous-mêmes nous avons installé un

Digitized by Google

four Russ : nous fondons nos métaux non ferreux avec des fours à induction.

M. LEVASSEUR. — Je ne nie pas l'intérêt considérable que présente le four Röchling, mais on l'emploie pour affiner, ainsi que le dit M. MARIES, le métal provenant du four Martin, c'est-à-dire un métal d'une pureté voisine de celle obtenue au four électrique et dont la principale qualité est ici la faible teneur en soufre, ce qui résulte d'ailleurs du choix des matières premières.

M. MARIES. — Dans l'acier affiné au four électrique, le degré de finesse est encore bien supérieur.

M. LEVASSEUR. — Le four électrique à induction est très intéressant pour l'obtention de métaux entièrement décarburés. En effet, l'arc, par la désagrégation des électrodes, occasionne une carburation. Cet inconvénient est supprimé au four à induction. Mais lorsque le métal à obtenir doit contenir du carbone, cela n'a que peu d'intérêt. Entre le four à arc et le four à induction, l'avantage en sidérurgie usuelle, est au four à arc.

M. MARIES attribue aux fours Röchling le succès des usines correspondantes en matière d'aciers spéciaux. Je ne crois pas que ce soit juste. J'ai vu ce four en Allemagne deux ou trois fois, mais ce qui permet à l'industrie allemande de concurrencer la nôtre, c'est son organisation bancaire qui permet, grâce à une concentration considérable des industries, de disposer toujours des moyens les plus perfectionnés et d'abaisser les prix de vente.

M. MARIES. — Tout en partageant votre avis sur ce point, je persiste à considérer le four à induction comme un progrès en sidérurgie.

M. LEVASSEUR. — Je ne pense pas qu'il soit légitime de présenter la question de cette manière. Le four à arc et le four à induction poursuivent des buts totalement différents. Le premier prépare de l'acier fin ordinaire et l'autre du fer fondu. Le produit obtenu au four à induction est exempt de carbone, mais il n'est pas plus pur et il le serait même moins si l'on ne partait pas ici de matières premières initialement pures et notamment exemptes de soufre. L'épuration est en effet très lente, en raison de la basse température du laitier.

Le four Röchling que j'ai cité dans mon rapport est employé en laitonnerie et pour la fusion des bronzes.

M. MARIES. — Les fours Röchling permettent de faire des alliages parfaits, ainsi que les fours à haute fréquence.

M. LEVASSEUR. — Pour ce qui est des fours Russ, dont a parlé

Digitized by Google

M. MARIES, il en existe un autre type qui n'est pas à induction ; c'est un appareil rotatif, à arcs, muni de trois électrodes qui traversent le fond du cylindre et qui est alimenté par du triphasé.

Enfin, il est peut-être bon de rappeler que, quoi qu'il ait été dit, j'ai signalé dans mon rapport que des fours à induction à basse fréquence étaient utilisés avec un plein succès, en France même, dans la fonderie des produits non ferreux.

M. MARIES. — Leur seul inconvénient est leur bas facteur de puissance.

M. VUIGNER. — Au sujet de la comparaison entre les fours à arc et les fours à induction, je crois que l'obtention de produits soignés exige surtout un réglage précis de la température.

Contrairement à ce qu'on peut croire, les réactions utiles ne sont pas toujours favorisées par l'élévation de la température qui peut même avoir des effets nuisibles.

Au point de vue du réglage de la température, les fours à induction me paraissent avoir un avantage qui rend leur développement vraisemblable.

M. LEVASSEUR. — Plus des deux tiers des fours d'aciéries sont du genre Héroult, ou analogues : il n'y a donc aucun doute sur le succès des fours à arc.

M. VUIGNER. — En restant dans le domaine des métaux non ferreux, on peut dire par exemple que dans la fonderie d'argent — pour la préparation des monnaies — on a adopté le four à haute fréquence parce que c'est lui qui permet le mieux le réglage de la température.

Ce réglage est nécessaire parce que, dès que la température favorable est dépassée, l'argent absorbe de l'oxygène et l'argent contenant de l'oxygène ne se travaille plus convenablement.

De même, le maillechort doit être coulé à une température rigoureusement déterminée.

Pour un métal comme le zinc, les essais de métallurgie électrique au four à arc n'ont pas donné de résultats bien satisfaisants parce que la température de l'arc est trop élevée. Il y a toujours des matières étrangères (fer, silicium, etc.) volatilisées avec le zinc et la condensation du zinc ne se fait plus alors normalement.

M. LEVASSEUR. — Les réactions ne sont pas, en effet, nécessairement favorisées par les hautes températures. Il faut considérer non seule-

Digitized by Google

ment les vitesses de réaction qui sont des fonctions exponentielles de la température, mais aussi les phénomènes d'équilibre. Il peut se faire que l'équilibre se déplace défavorablement quand la température s'élève. Peu importe alors qu'il soit atteint très vite. C'est ainsi que la déphosphoration doit s'accomplir à température plus basse que la désulfuration. La déphosphoration s'opère d'ailleurs fréquemment au four Martin ou au convertisseur, car elle offre peu d'intérêt au four électrique. On désulfure ensuite dans ce dernier avec une dépense très minime d'énergie.

M. VUIGNER. — J'ai lu que les aciers coulés trop chauds, sous une scorie trop basique, ont une texture physique qui les rend inférieurs aux aciers au creuset et j'ai constaté que certains alliages sidérurgiques coulés dans ces mêmes conditions, ont tendance à se déliter et à tomber en poussière.

M. LEVASSEUR. — Il est, en effet, certain que l'obtention d'une haute température ne constitue pas une garantie, mais elle doit être possible. Or cette possibilité n'existe pas au four à induction à basse fréquence et c'est de là que résulte l'avantage décisif du four à arc en aciérie.

M. GUTMANN donne connaissance de la note qu'il a rédigée au sujet des *fours à haute fréquence* (1).

M. le Président remercie M. GUTMANN d'avoir signalé des réalisations de fours à haute fréquence dont la plupart sont mal connues.

M. MARIES ayant rappelé qu'à son avis, et contrairement à celui de M. GUTMANN, le fonctionnement de l'arc ne peut passer pour être brutal, M. CORDIER précise que, tant que les électrodes d'un four à carbure plongent dans la matière en traitement, celle-ci agit comme une résistance. Quand la scorie s'interpose entre l'électrode et le bain, il se produit un arc plus ou moins brutal et la température n'est plus aussi uniforme. Il intervient une sorte d'éclatement qui peut avoir son utilité.

N. D. L. R. *Nous avons reçu des Etablissements Marshall (Fours électriques Morgan) une note relative au rapport de* M. LEVASSEUR, *de laquelle nous extrayons les observations suivantes :*

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série, Tome VI, n° 64 décembre 1926, p. 893.

Digitized by Google

« Le rapport de M. A. Levasseur signale que « ces fours ne peuvent être utilisés sur courant triphasé sans apporter un certain déséquilibre. »

« Or, un des avantages les plus appréciables du four électrique Morgan est que ce four a été établi, comme le fait remarquer M. Levasseur, *pour de faibles capacités*, de sorte que, même dans un établissement de moyenne importance, on peut envisager le montage de 3 fours, permettant la fusion simultanée de 3 alliages différents, quelle que soit leur teneur en cuivre, aucun déséquilibre n'étant alors à redouter. Le déséquilibre est d'ailleurs si faible que la plupart des Centrales électriques acceptent l'installation d'un seul four.

« D'autre part, M. Levasseur ajoute que le creuset est assez rapidement détruit.

« Au contraire, la durée du creuset dans le four électrique Morgan est de l'ordre du double de la durée d'un creuset utilisé dans les fours à combustible.

« Il y a lieu de considérer que la dépense pour le renouvellement des creusets n'est pas plus élevée que celle résultant de l'usure des électrodes et garnitures dans les autres systèmes de fours.

« De plus, une économie sensible est réalisée du fait que la garniture d'un four électrique Morgan, ne jouant que le rôle d'isolant calorifuge, n'a pas à être renouvelée et, si l'on compare les dépenses résultant :

« d'une part :

1° du remplacement des électrodes ;

2° du remplacement des garnitures réfractaires (dont l'usure est très variable et le coût généralement très élevé) ;

« d'autre part :

« du remplacement du creuset dans le four électrique Morgan, on constate en faveur de ce dernier un avantage considérable. »

M. Levasseur *a fait à cette note la réponse suivante :*

« Il résulte du texte même de mon rapport que les Etablissements Marshall et moi-même sommes, en réalité, en complet accord pour ce qui est du déséquilibre.

« *Pour ce qui est de l'usure du creuset, les chiffres que j'ai apportés ne sont pas contestés par la note Marshall.*

« Celle-ci affirme que le total des dépenses d'usure n'est pas plus

Digitized by Google

élevé avec le four Morgan qu'avec les autres fours électriques. Cela dépend du type de four auquel on compare le Morgan et je n'ai pas dit que ce dernier fût, à cet égard, inférieur à la plupart des autres. Je me rapproche même des Etablissements Marshall pour penser que, jusqu'à nouvel ordre, les fours à électrodes sont, *en France*, plutôt désavantageux, puisque *en fonderie de produits non ferreux*, l'arc n'a pas, en général, les avantages qu'il possède en aciérie, et que, d'autre part, les électrodes graphitiques de bonne qualité sont, chez nous, d'un prix excessif. »

M. LEVASSEUR résume son rapport sur *le potentiel de décharge et les sels complexes en métallurgie électrolytique* (1) et M. JUMAU présente sa note sur *les accumulateurs Ironclad* (2).

M. GASQUET. — Je remercie M. JUMAU de l'intéressante communication qu'il a faite et crois qu'il serait intéressant de savoir où nous en sommes en France au point de vue des véhicules électriques.

Il y a d'abord dans notre pays environ 2 000 tracteurs et chariots d'usine dont on est habitué à parler très peu ; ce sont cependant des appareils tout à fait au point et d'un fonctionnement sûr et économique.

Il y a, d'autre part, un nombre important de locomotives à accumulateurs à voie étroite, particulièrement dans les Mines du Nord ; nous pouvons même espérer que d'ici un tout petit nombre d'années il n'existera plus dans les Mines françaises que des locomotives électriques à accumulateurs, celles-ci ayant éliminé les locomotives à air comprimé et à essence.

Les réseaux départementaux à voie de 1 m ont commencé à s'intéresser à la traction par accumulateurs : le réseau des Charentes a passé commande à la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques de 8 locomotives qui seront équipées avec des accumulateurs SAFT au fer-nickel. D'autre part, le réseau du Sud-Ouest a passé commande, à divers constructeurs, d'automotrices avec accumulateurs au plomb, étant entendu qu'une commande importante serait ultérieurement

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série, Tome VI, n° 61, septembre 1926, p. 935.

(2) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série, Tome VI, n° 64, décembre 1926, p. 1319.

Digitized by Google

faite au constructeur de l'automotrice répondant le mieux au programme particulier.

Rien d'important n'a été fait par les grands réseaux pour la traction à accumulateurs.

Restent les véhicules sur route.

Dans cette application, nous sommes loin d'être aussi avancés que les peuples voisins. La raison ne provient pas des accumulateurs et l'expérience nous a montré qu'il était possible de faire un service régulier et économique avec les accumulateurs que l'on trouve en France, c'est-à-dire avec, d'une part, les accumulateurs au plomb du type standardisé et, d'autre part, avec les accumulateurs au fer nickel SAFT. Je rappelle, d'ailleurs, que l'on vient d'introduire en France les accumulateurs IRONCLAD qui ont déjà réussi dans les pays anglo-saxons.

Mais la difficulté provient de ce que notre pays s'est préoccupé de créer, de nouveau, la traction par accumulateurs à une époque de crise financière. Or, dans les périodes de crise, ou bien les clients n'ont pas assez d'argent pour acheter les véhicules cher ou bien, s'ils en ont, ils désirent le garder et acceptent, pour diminuer les frais de premier établissement, une augmentation importante des dépenses d'exploitation.

M. GIRAULT. — Je désirerais rappeler quelques anciens souvenirs se rapportant aux électromobiles à accumulateurs :

J'appartenais vers 1906 à la Compagnie des Voitures électriques Kriéger ; à cette époque, les fabricants d'accumulateurs n'étaient guère disposés à partager les risques d'une exploitation d'électromobiles avec les fabricants de ces véhicules ; j'espère qu'ils se montreraient moins rétifs aujourd'hui.

A Berlin, les conditions favorables aux fabricants d'accumulateurs avaient permis d'établir une exploitation importante de fiacres électriques, dans laquelle les voitures Krieger représentaient de manière inaccoutumée la construction française. Les fabricants français d'accumulateurs n'étant pas disposés à souscrire des conditions semblables à celles acceptées par leurs collègues allemands, j'avais suggéré l'essai d'une tentative d'exploitation à deux, dans laquelle fabricant de véhicules et fabricant d'accumulateurs auraient conclu un contrat d'entretien limité à une certaine valeur, au-dessus de laquelle les dépenses complémentaires auraient été partagées entre les deux parties ;

Digitized by Google

en limitant cette exploitation à une cinquantaine de voitures de remise, alors très rémunératrices, on eût été à peu près certain d'éviter un déficit.

J'insistai d'ailleurs sur la nécessité de faire diriger la tentative par une personnalité connaissant à fond les accumulateurs. En effet, l'entretien du châssis d'un véhicule électrique bien compris est très peu coûteux et très aisé ; la grande question est l'entretien des accumulateurs ; or, on avait l'habitude de dire qu'il n'y avait rien à faire avec les accumulateurs étant donné leur entretien onéreux, mais on oubliait de faire ressortir que, dans les entreprises tentées antérieurement, les personnes chargées de l'emploi et de l'entretien connaissaient fort mal cette question. L'affirmation était donc prématurée ; j'espérais qu'après une tentative d'une année environ, faite sous la direction d'un spécialiste, un jugement plus motivé pourrait être porté.

Un spécialiste de l'entretien doit connaître beaucoup de faits pratiques se rapportant à la vie des accumulateurs, en plus de ceux relatifs à leur fabrication. Les fabricants ignoraient certains de ces faits comme en feront foi les deux anecdotes qui suivent :

1° Il y eut en 1899 un concours international d'accumulateurs de l'Automobile Club de France ; le règlement portait, à l'article 9 : « ... Un jour par semaine, les batteries seront déchargées en tension, sans trépidation, au régime constant de 24 ampères pendant cinq heures. Toute batterie dont la différence de potentiel aux bornes pendant ces essais tomberait au-dessous de 8,5 volts sera retirée du circuit.

« Après quatre mises hors circuit, la batterie sera définitivement éliminée » (1).

J'étais chargé de suivre à ce concours une batterie Blot-Fulmen, à positives Blot et négatives Fulmen. Je suivais les décharges en relevant la tension de chaque élément de façon très précise; à un moment donné, je vis les tensions décroître journellement et, prévoyant la panne finale du fait des négatives, je demandai l'avis de la Société Fulmen, en proposant une inversion dans l'acide faible laquelle, selon moi, pouvait recoller au cadre les pastilles des négatives ; ma suggestion fut écartée et l'on me conseilla l'emploi du sulfate de cadmium qui n'atténua pas la décroissance des tensions Or, aussitôt après mon

(1) Industrie électrique du 10 janvier 1900 (p. 51).

Digitized by Google

élimination de principe du concours, j'effectuai, après décharge, une inversion d'environ une fois la capacité dans l'acide faible, et ayant rechargé et rétabli le degré d'acide à fin de charge, ma batterie fut la seule à tenir (officieusement) le samedi suivant ; je lui fis subir par la suite une dizaine de décharges sans obtenir la fin réglementaire de son existence.

2° En août 1905, deux électromobiles Krieger eurent l'occasion d'effectuer un raid, Saint-Germain-Deauville et retour, avec recharge à Evreux à l'aller, sans recharge durant le retour. Un ingénieur de la Société du Travail Electrique des Métaux, M. Britin, nous accompagnait ; malgré ses protestations, je m'efforçai, pour gagner du temps, de donner une charge de biberonnage à « *gazage imperceptible constant* », dans la limite du possible, me souvenant des charges *rapides* effectuées autrefois sur les tramways Louvre-Vincennes et Louvre-Cours de Vincennes. Au début, j'utilisai toute l'intensité (limitée) disponible sans avoir le moindre gazage, puis diminuai par la suite l'intensité de façon à n'obtenir constamment qu'un dégagement de quelques bulles. Je fournis ainsi aux deux batteries un important biberonnage et cela en très peu de temps, tout en luttant contre M. Britin qui s'y opposait formellement.

Ces deux faits peuvent contribuer à montrer qu'en exploitation d'électromobiles il est bon de connaître beaucoup de trucs, de recettes, de faits d'expérience, relatifs à la vie des accumulateurs et de savoir à l'occasion s'en inspirer. Il y a une tactique à établir pour chaque ville, qui ne sera pas la même pour Paris et pour Berlin ou Milan, et pour établir cette tactique, il faut des esprits très assouplis sur les questions d'emploi, d'entretien, si l'on veut parvenir à une exploitation avantageuse.

En résumé, j'ai voulu insister sur deux points :

1° Les fabricants d'accumulateurs devraient s'intéresser d'une manière effective aux exploitations d'électromobiles à accumulateurs ;

2° Les dirigeants de ces exploitations devraient connaître à fond les questions relatives à l'emploi et à l'entretien des accumulateurs.

M. Gasquet. — Je crois qu'il y a maintenant moins de personnes connaissant bien les accumulateurs qu'il n'y en avait il y a quelques années et c'est le progrès même des accumulateurs qui en est la cause : la plupart des gens ne connaissent, en effet, en tant qu'accumulateurs, que ceux qui sont utilisés pour le démarrage des véhicules thermiques et nous savons, par expérience, que nombre d'entre eux les

Digitized by Google

entretiennent mal ou pas du tout parce que ce sont des appareils extrêmement robustes auxquels on peut demander beaucoup en se contentant de leur donner un peu d'eau de temps en temps.

M. Féry présente une note sur *la théorie des accumulateurs au plomb* (1).

M. Jumau. — Je partage entièrement l'avis de mon ami M. Féry. Il serait très intéressant de faire des recherches et de nouveaux essais. Pour le moment je n'ai rien à dire d'autre que ce que j'ai publié dans la *Revue Générale de l'Electricité*. Je me suis appuyé sur des faits d'expérience et j'attends qu'on me réponde par des faits d'expérience.

Toutefois, en ce qui concerne la négative déchargée, je rappellerai que je ne suis pas opposé, *à priori*, à admettre que la matière négative déchargée est du sulfate plombeux plutôt qu'un mélange de plomb et de sulfate de plomb. Je trouve que ceci est tout à fait admissible, mais j'ai tenu à bien montrer qu'il y a des expériences qui contredisent cette hypothèse.

En particulier, si l'on admet cette supposition, le calcul du coefficient d'utilisation pour des décharges lentes de négatives conduirait à une valeur allant jusqu'à 1,4 fois la valeur théorique ce qui, on en conviendra, est absolument impossible.

Nous pourrions peut-être nous rencontrer sur le terrain suivant : formation initiale en décharge de sulfate plombeux et formation ultérieure de sulfate plombique. Mais j'ajouterai que, dans ce cas là, il faudrait que les chaleurs dégagées par les formations du sulfate plombeux et du sulfate plombique, fussent extrêmement voisines. Autrement il en résulterait des différences de tension cathodique que l'on ne constate pas expérimentalement pendant la décharge. Celle-ci ne montre bien, en fait, qu'une seule phase de tension à la négative.

On ne doit pas rejeter sans examen une telle supposition, mais la démonstration reste à faire que ces chaleurs sont réellement très voisines.

M. Bichet fait observer que si de nouveaux travaux devaient être entrepris sur le fonctionnement des accumulateurs, il serait avantageux

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 64, Décembre 1926, p. 1341.

Digitized by Google

de les confier à un chimiste au courant des phénomènes colloïdaux, la théorie des colloïdes étant susceptible d'apporter ici quelques éclaircissements, non seulement sur les piles, mais aussi sur les accumulateurs.

M. LE PRÉSIDENT. — La dernière question à l'ordre du jour est celle des *installations électrolytiques d'hydrogène en vue d'utiliser au maximum la puissance d'une centrale électrique* (1).

L'auteur du rapport, M. SARROT DU BELLAY, gravement malade, ne peut malheureusement le présenter lui-même.

Je me suis occupé avec M. SARROT DU BELLAY de grosses installations d'une puissance d'environ 20 000 kilowatts avec des électrolyseurs anglais Knowles ; dans d'autres usines, j'ai vu employer des électrolyseurs italiens Fauser ; j'ai conversé avec des constructeurs suisses, américains... Je crois regrettable qu'aucun constructeur français n'ait participé à ces grandes installations qui représentent des sommes considérables ; ce matériel est très facile à construire ; il ne requiert pas d'études savantes et longues, il ne comporte pas les aléas de fabrication qui accompagnent l'industrie des accumulateurs.

Au sujet de l'emploi des électrolyseurs pour absorber les pointes des stations électriques, la plus grosse difficulté est que les appareils d'utilisation des gaz ne peuvent suivre cette production discontinue. Il faut alors recourir à des gazomètres extrêmement encombrants et coûteux.

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e Série, Tome IV, n° 61, septembre 1926, p. 925.

Digitized by Google

ERRATA

aux rapports insérés dans les Bulletins d'Août et Septembre 1926

1° Bulletin d'aout. — *Les Fours d'électrochimie*, par M. Bunet :

Page 881, formule de cos φ_2 du *bas* de la page, au dénominateur

$$\sqrt{(1 + 0{,}04 - 0{,}4 \times 0{,}8) \ldots\ldots}$$

au lieu de $\sqrt{(1 + 0{,}4 - 0{,}4 \times 0{,}8) \ldots}$

Page 883, ligne 12 :

$$\cos \varphi_1 = \frac{\cos \varphi_2}{\sqrt{\quad}} + \ldots.$$

au lieu de $- \ldots.$

Page 887, bas de la page :

$$L = 2B\left[\log \frac{B}{\rho} + \frac{4\rho}{B} - 1{,}91\right]$$

le signe — n'apparaît pas dans le texte imprimé.

Sur la figure n° 2, la lettre extrême à droite doit être

I_P et non I_1.

D'autre part, la fig. 1 doit porter comme texte : Diagramme de la 2e méthode.

Et la fig. 2 : Diagramme de la 2e méthode *modifiée*.

L'Utilisation des fours électriques dans la fonderie des alliages et des métaux non ferreux, par M. Levasseur.

Page 912. — Lire, pour les lettres de classement, de haut en bas :

« *q*, *c*, *p*, *q*, *r*, *d*, *e*, *f*. »

2° Bulletin de septembre. — *Le potentiel de décharge et les sels complexes en métallurgie électrolytique*, par M. Levasseur.

Page 939, 1re ligne. — Au lieu de « absorbant », lire : « adsorbant ».

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

I. — Principales décisions du Bureau en janvier 1927.

Commission de propagande.

Le Bureau décide de créer une Commission de propagande dont la mission sera de poursuivre activement l'accroissement du nombre des Membres de la Société.

Les Groupements de province seront invités à se faire représenter à cette Commission par leur Président ou son Délégué.

Le Délégué général se fait l'interprète du Bureau pour prier instamment tous les Membres de la Société qui auraient une suggestion à faire au sujet de cette propagande, de la faire parvenir au siège social, 14, rue de Staël.

Voyage dans les Mines du Nord.

Le Bureau décide d'organiser un voyage dans les Mines du Nord, afin que les Membres de la Société puissent se rendre compte du travail considérable accompli depuis la guerre pour l'électrification des mines. En principe, ce voyage aura lieu du lundi 30 mai au mercredi 1er juin inclus.

Une circulaire qui en précisera le programme et le prix sera envoyée en temps voulu à tous les Membres de la Société.

Attribution de legs.

Le Bureau décide d'attribuer, si possible, en 1927, les legs Angel et Creux.

Le legs Louis Angel s'élève actuellement à 1 230 fr et doit récompenser le meilleur mémoire présenté chaque année sur la téléphonie sans fil, la transmission des images ou de l'énergie à distance

Digitized by Google

avec ou sans fil et la télégraphie sans fil et la télémécanique sans fil.

Le legs CHEUX se monte actuellement à 2 330 fr. et doit servir particulièrement à des recherches en électrophysiologie.

Ceux des Membres qui auraient des titres à présenter pour l'attribution de ce dernier legs, sont invités à se faire connaître en adressant une demande au Président, 14, rue de Staël.

Annuaire.

Le Bureau décide qu'à l'avenir l'année d'admission des Membres titulaires sera indiquée sur l'Annuaire.

II. — Principales décisions du Comité en février 1927.

Attribution de la Médaille Mascart.

Le Comité, dans sa séance de février, a décidé d'attribuer pour 1927, la Médaille Mascart qu'il a fondée en 1923, à Sir J.-J. THOMSON, candidat présenté par l'Institution of Electrical Engineers.

Bourse Frantz Hueber.

Il a décidé de fonder à l'Ecole Supérieure d'Electricité une bourse de frais d'études qui sera attribuée tous les deux ans et qui portera le nom de bourse Frantz HUEBER, en mémoire d'un Ingénieur de la promotion 1924-1925, qui a péri accidentellement au cours de l'été 1926.

Délégués au Comité Electrotechnique.

Le Comité a renouvelé le mandat de MM. BOUCHEROT, FERRIE, JANET, LABOUR, LEBAUPIN, MAZEN et REY comme délégués de la S.F.E. au Comité Electrotechnique. Il a désigné M. PARODI en remplacement de M. GUILBERT, démissionnaire.

III. — Sixième assemblée plénière de la C. E. I. septembre 1927.

Le programme de l'Assemblée tel qu'il a été projeté mais restant soumis à des modifications de date et de durée est le suivant :

Digitized by Google

Septembre	4	Arrivée des Délégués à Bellagio.
—	5	Séance d'ouverture et Réunions des Comités d'Etudes.
—	6-7	Réunions des Comités d'Etudes.
—	8	Commémoration solennelle du centenaire de la mort de Volta à l'occasion de la réunion du Congrès Scientifique International.
—	11	Visites d'installations Hydro-électriques organisées par la Compagnie Edison.
—	12	Clôture des Réunions des Comités d'Etudes.
—	13	Départ pour Milan en train pécial. Réception des Délégués par la Section Milanaise de l'A. E. I. Arrivée à Venise dans la soirée.
—	14	Visite de Venise.
—	15	Visite de l'usine de Santa-Croce.
—	16	Départ pour Florence par train spécial dans l'après-midi.
—	17	Visite de Florence.
—	18	Départ pour Rome par train spécial dans l'après-midi.
—	19-20	Visite de Rome.
—	21	Assemblée Plénière de la C. E. I. et clôture de la session.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS [1]

SOMMAIRE

1re Section. — Ordre du jour de la semaine de discussion d'octobre 1927, p. 234. — Relevés statistiques pour déterminer la tolérance sur le facteur de puissance, M. Roth, p. 234. — Une image mécanique d'hystérésis, M. Girault, p. 235.

2e Section. — Eclairage des studios de photographes (discussion, MM. Cohu, Granat, Marsat, Matigot, p. 235. Analyse d'une lettre de M. Marks, au sujet de l'éclairage des usines, p. 236. — La soudure électrique par l'hydrogène atomique; utilisation de la chaleur de l'arc électrique d'après les travaux de Langmuir, M. M. Leblanc, p. 236.

3e Section — La soudure électrique, MM. Languepin, Brandt, Brillié, Chaumat, Levasseur, p. 236.

4e Section. — Résultats de l'emploi du fil de fer galvanisé pour l'établissement des lignes électriques, MM. Viel, Monmerqué, Ourson, Roussel, Bunet, Valensi, p. 239. — Postes de transformation et postes de distribution automatiques, M. Tauzin, p. 241.

5e Section. — Ordre du jour de la semaine de discussions d'octobre 1927, p. 241. — Les procédés de jonctionnement en téléphonie automatique, MM. Damoiseaux et Merker, p. 242

1re SECTION. — PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

Présidence de M. Roth.

Séance du 8 janvier 1927. — *Ordre du jour de la semaine de discussions d'octobre* 1927. — Sur la proposition du Président, les questions suivantes sont portées à l'ordre du jour :

1° Echauffement des machines électriques : *a*) étude analytique, rapporteur M. Roth ; *b*) étude technique, rapporteur M. Girault.

2° Tracé des lignes de force dans les machines électriques, rapporteur M. Lehmann ou M. Perrin.

3° Etude de la déformation des courbes d'alternateur en charge, rapporteur X...

4° Résonances dans les réseaux, rapporteur M. Ricalens.

5° Unification des fréquences, rapporteur M. Rieunier.

Relevés statistiques pour déterminer la tolérance sur le facteur de

---

(1) Tout membre de la Société française des Electriciens peut, en adressant une demande au Délégué général, 14, rue de Staël, être convoqué aux séances des sections.

(2) Cette question a été mise à l'ordre du jour de la 1re Section en vue de la présentation à la Conférence des grands réseaux de juin 1927, d'un rapport dont M. Rieunier a bien voulu se charger.

Digitized by Google

puissance, M. Roth. — M. Roth présente les résultats d'une étude statistique effectuée à la Société alsacienne de constructions mécaniques pour déterminer les facteurs de puissance d'un grand nombre de moteurs asynchrones. Pour chaque type de moteur, il a été établi un graphique sur lequel sont portés : en abscisses les facteurs de puissance relevés expérimentalement, et, en ordonnées, le nombre de moteurs possédant un facteur de puissance déterminé. M. Roth en a déduit le nombre de moteurs de chaque série qui auraient dû être rebutés, soit par application de la règle de tolérances françaises, établie par M. Bouchérot ($0{,}1 \sin^2 \varphi \cos \varphi$), soit par application de la règle allemande $\left(\frac{1 - \cos \varphi}{6}\right)$. Il se dégage de ces statistiques, que la règle française n'est pas sensiblement plus sévère que la règle allemande, même pour de très petits moteurs, fonctionnant avec un faible facteur de puissance. M. Roth ne trouve donc pas dans cette étude de motifs pour changer la formule usuelle, mais il souhaite que d'autres constructeurs entreprennent des travaux analogues afin de pouvoir en dégager une conclusion bien nette.

Une image mécanique d'hystérésis, M. Girault. — M. Girault développe la note qu'il a récemment présentée à ce sujet à l'Académie des Sciences et qui sera ultérieurement communiquée en séance publique de la Société française des Electriciens.

2e SECTION. — ÉCLAIRAGE

Présidence de M. Maurice Leblanc.

Séance du 16 janvier 1927. — *Discussion de la communication de* M. Manuel *sur l'éclairage des studios de photographes.* — M. Cohu donne quelques renseignements sur l'éclairage des studios de photographes réalisé en Amérique au moyen de lampes à incandescence. On y emploie, en général, deux groupes de lampes de 1 000 W, poussées, en verre bleu, avec toile diffusante. L'obtention de l'instantané exige une puissance de 4 000 W. Il demande si l'on a fait des expériences comparatives entre l'actinisme des lampes à incandescence et celui des lampes à vapeur de mercure, à consommation égale. M. Fourcault signale que les *Proceedings of the Optical Convention* contiennent, sur ce sujet, des renseignements intéressants.

M. le Président estime que, pour obtenir avec l'arc à mercure un

Digitized by Google

instantané au cinquième de seconde, il est nécessaire de disposer au minimum, d'une puissance de 1 kW. Le cinéma, genre Pathé Baby, exige au moins 3 kW.

M. GRANAT fait observer que la lumière des projecteurs à arc est, en général, très mal utilisée dans les studios de cinéma ; il y aurait là beaucoup à faire pour les éclairagistes.

M. MARSAT fait remarquer qu'en employant les lampes à incandescence pour éclairer les studios, on peut régler les éclairages avec une intensité réduite et ne donner la pleine intensité que pendant un temps très court, au moment de la prise de vue, ce qui permet une économie notable de la consommation.

M. MATIGOT estime que les lampes à incandescence donnent, en cinématographie, des renseignements intéressants au point de vue de la qualité de la lumière, des tons et du rendu des couleurs ; elles ont, en outre, l'avantage de pouvoir être alimentées directement en courant alternatif, et leur vie normale atteint de 150 à 200 h malgré les surtensions qu'elles ont à supporter.

Eclairage des usines. — M. le Président donne lecture d'une lettre de M. MARKS en réponse aux questions qui lui avaient été posées relativement aux augmentations proposées pour les valeurs d'éclairement et à la création d'une classe de travaux supervisuels. M. MARKS fait remarquer que la première règle du code américain d'éclairage stipule des minimums de sécurité ; la deuxième règle recommande des valeurs beaucoup plus élevées pouvant atteindre 200 lux. Toutes ces questions ont été soumises à l'examen de divers Comités ; en attendant les décisions qu'ils prendront, M. MARKS conseille de s'en tenir au tableau imprimé dans les compte-rendus de Genève de 1924.

Soudure à l'hydrogène atomique. — M. MAURICE LEBLANC indique, dans une note, le parti qui a été tiré à la suite des travaux de LANGMUIR, des propriétés de l'hydrogène atomique, pour réaliser les opérations de soudure.

3e SECTION. — ÉLECTROCHIMIE. — ÉLECTROPHYSIOLOGIE

Présidence de M. CHAUMAT.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1927. — *La soudure électrique*, M. LANGUEPIN. — Les premiers brevets concernant les différents procédés de

Digitized by Google

soudure électrique, datent des débuts de l'électricité ; cette question a été très étudiée à cette époque, et de 1886 à 1890, plus de 150 brevets ont été pris pour les différentes applications du chauffage électrique à la soudure ou à la forge. Principaux procédés de soudure : Slavianoff (arc), Bernardos (arc), Thomson (résistance), Lagrange et Hoho (électrolytique).

Actuellement, un grand nombre de questions de soudure donnent lieu à des recherches.

Les procédés de soudure par résistance, comportent surtout un procédé de chauffage par passage du courant dans les pièces à chauffer, mais pour la soudure, le passage d'une pièce à l'autre se fait au travers d'un contact. Suivant la pression et l'état des extrémités, la résistance de ce contact est très variable. Pour la soudure par résistance proprement dite, on donne une assez grande pression ; pour la soudure par étincelle, au contraire, on maintient un contact léger de façon à avoir une grande résistance au contact. Il y a des procédés mixtes tels que la soudure éclair qui est très rapide.

Il semble que les conditions de la soudure soient fonction de la température et de la pression. Les travaux de Fichter montrent que l'on peut faire des soudures à froid dans des conditions convenables. On emploie pratiquement des pressions extrêmement variables.

La soudure par points est dérivée de la soudure par bout, le courant étant amené de chaque côté des deux pièces à souder, par superposition, au moyen d'électrodes de cuivre. En dehors du rôle que joue la pression dans la soudure par bout, elle doit, en soudure par points, être assez élevée pour amener une localisation du passage du courant sous les électrodes. L'usure rapide des électrodes qui en résulte, rend difficile l'exécution de machines pour souder par points de très fortes épaisseurs.

On a beaucoup étudié les machines automatiques qui donnent des résultats intéressants, mais demandent un réglage assez délicat comme tout appareil automatique. Cela entraîne une difficulté pour l'emploi du personnel de forgerons ou de tôliers au service de ces machines.

Il y a trois modèles principaux d'automatiques :

1° Machine à temps constant (machine à chaîne) ;

2° Machine dont le déclenchement est produit par le refoulement du métal et le déplacement des électrodes (très employée pour les machines à souder par bout) ;

3° Machine munie d'un disjoncteur à temps, coupant le courant

Digitized by Google

lorsqu'une intensité suffisante a passé pendant un temps convenable.

Un grand nombre de brevets ont été pris pour ce dernier dispositif et plusieurs types de machines existantes paraissent donner satisfaction.

Il a été construit un très grand nombre de machines à souder électriques, automatiquees ou non, destinées à des applications spéciales ; soudure de rails, soudure de carrosserie, machines à souder complètement automatique pour le montage des piles, etc.

M. BRANDT signale l'intérêt qu'il y a, dans la soudure rapide, à augmenter la puissance, d'où l'utilité d'avoir un disjoncteur automatique d'une extrême précision.

Il fait observer, d'autre part, que la soudure par étincelle donne de bons résultats dans les cas où la puissance serait insuffisante pour la soudure par résistance.

Il ajoute enfin que les craintes parfois manifestées par les Compagnies de distribution ne sont pas justifiées, la puissance moyenne absorbée par les postes de soudure est petite et les surcharges (qui ne durent qu'un temps extrêmement court), ne produisent aucun trouble appréciable.

Répondant à une question de M. BETHENOD, M. LANGUEPIN indique que le facteur de puissance de l'installation est généralement supérieur à 0,85.

M. BRILLIE donne des renseignements sur le procédé Langmuir qu'il a vu utiliser aux ateliers de la G. E. C°. Ici l'énergie empruntée à un arc jaillissant entre des électrodes de tungstène est transportée jusqu'à l'objet à souder par un courant d'hydrogène traversant l'arc. Cet hydrogène, initialement à l'état moléculaire, est amené, par l'arc, à l'état atomique et repasse à l'état moléculaire au contact de la pièce. Il peut alors prendre une température supérieure à celle qu'il avait dans l'arc.

M. BRANDT remarque que l'action réductrice ainsi exercée, doit produire un excellent décapage.

M. CHAUMAT fait observer que l'hydrogène monoatomique est utilisé depuis longtemps en chimie, sous la forme d'hydrogène naissant.

M. LEVASSEUR rappelle à ce sujet les résultats obtenus par M. CHAUMAT dans la réduction électrolytique de l'indigo bleu en indigo blanc. Il ajoute qu'il n'est cependant pas certain que la réduction soit due, dans ce procédé, à l'hydrogène naissant. Elle résulte peut-être, ainsi

Digitized by Google

que le pense M. Férv, de l'action du sodium (qui, d'ailleurs, serait lui aussi à l'état monoatomique).

4e SECTION. — APPAREILLAGE. — CANALISATIONS. TRACTION.

Présidence de M. Gratzmuller.

Séance du 11 janvier 1927. — 1° *Résultats de l'emploi du fil de fer galvanisé pour l'établissement des lignes électriques.* — M. le Président donne lecture d'une lettre par laquelle M. Ourson, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Secrétaire du Comité d'Electricité, a demandé connaissance des résultats de l'enquête qui devait être entreprise sur la question, à la suite du rapport présenté par M. Bunet à la Semaine de discussions de décembre 1924.

Il donne aussi lecture des renseignements fournis le 29 octobre 1926, par M. Viel, Directeur de la Compagnie électrique de la Loire et du Centre. Cette Compagnie a équipé plusieurs lignes en fil de fer galvanisé :

1° En 1911, une ligne de 2 700 km, à 5 700 V, en fil de 50/10e, et transportant 40 kVA le long d'un profil très accidenté. Il n'y a jamais eu d'accidents ; toutefois, aux points d'attache, la galvanisation commence à disparaître et il se produit des taches de rouille ;

2° En 1915, une ligne de 7 km, à la même tension en fil de 44/10e, transportant 50 kVA ; rien à signaler ;

3° En 1916, une ligne de 6 500 km, téléphonique, en fil de 40/10e, placée sur les mêmes supports que les lignes à haute tension ; rien à signaler ;

4° En 1916, une ligne de 1 200 km, à 30 000 V, en fil de 50/10e, cette ligne, qui a été déposée en 1920 par suite de modifications apportées au réseau, ne présentait aucune trace de rouille.

Remarque. — *Ces quatre lignes avaient été équipées en fil galvanisé d'avant-guerre.*

5° En 1917, une ligne de 6 km, à 30 000 V, en fil de 50/10e ; en raison de l'état de guerre, les fabricants n'ont pu donner les mêmes garanties qu'antérieurement ; les conducteurs se rompant au droit des attaches, la ligne a dû être déposée en 1923 ; le fil, entièrement rouillé, ne présentait plus la solidité nécessaire. Depuis, la Compagnie a continué à protéger les lignes à haute tension contre la foudre au moyen de fils de terre de 40 et 50/10e, galvanisés, ou de câbles d'acier galvanisé de 40 et 20 mm², fixés aux poteaux sur des isolateurs

Digitized by Google

en porcelaine pour basse tension ; sur les lignes 120 000 V construites de 1921 à 1926, le câble de terre, à 7 ou 19 brins d'acier galvanisé, de 40 mm² de section totale, est fixé aux pylônes par une mâchoire en fonte ; rien à signaler jusqu'à présent.

En outre, M. VIEL a fait exécuter, en 1917, une ligne de quelques kilomètres à 12 000 V, en fils de 40/10e, transportant 20 kVA ; cette ligne a fonctionné d'une manière très satisfaisante pendant 18 ans, au bout desquels elle a été remplacée par une ligne plus importante.

M. VIEL emploie du fil d'acier, ayant, pour les lignes, 45 kg/mm² de résistance à la rupture et pour le conducteur de terre, en fil câblé, de 70 à 120 kg/mm², suivant les portées et les régions.

Les deux principales difficultés d'emploi du fil de fer résident dans l'attache sur les isolateurs et dans la jonction des conducteurs entre eux.

Pour l'attache, M. VIEL recommande d'enrouler sur le conducteur, au point où il doit frotter sur l'isolateur et avant de poser la cravate, un boudin de fil clair galvanisé, de dureté très inférieure à celui du fil de ligne et qui empêchera l'usure de la pellicule de zinc. Pour les jonctions, il conseille l'épissure dite à la bobine, avec du fil clair galvanisé, qui permet d'éviter le pliage sur un faible rayon de courbure et les criques consécutives de la pellicule de zinc qui entraînent la formation de la rouille au point d'attache. La jonction des câbles est faite au moyen des manchons à serrage conique, genre Payrard. Ils ont l'avantage de fournir une protection contre l'humidité et de présenter sensiblement la même résistance mécanique que le conducteur lui-même. M. VIEL estime que les conditions imposées par le cahier des charges des Postes et Télégraphes pour la réception des fils galvanisés sont suffisantes, mais qu'il est indispensable de vérifier que chaque botte ou touret les remplit effectivement.

M. BUNET, en transmettant cette lettre de M. VIEL, y a joint une note soulignant l'importance de la question pour les lignes rurales, en raison des avantages du fil de fer sur les lignes qui ne sont parcourues que par quelques dixièmes d'ampères et pour lesquelles l'emploi du cuivre majore parfois de 0,10 fr le prix du kilowatt-heure.

De plus, le fer concourt à la protection des transformateurs contre les phénomènes de haute fréquence. M. BUNET ajoute que les fils et les pièces de fer, quand elles sont bien galvanisées, ne se rouillent pas aux intempéries. Même si elles le sont mal, elles ne se rouillent pas

Digitized by Google

toujours très vite. Il recommande à cet égard, comme M. VIEL, une stricte application du cahier des charges.

M. MONMERQUÉ a écrit au Président pour appuyer les observations de M. BUNET au sujet des avantages des lignes de fer, spécialement en vue de desservir les écarts dans les réseaux ruraux et pour suggérer la meilleure marche à suivre en vue de faire parvenir aux services des Travaux Publics et du Génie rural les conclusions auxquelles la Section aboutira.

Au cours de la discussion, il est précisé par MM. BUNET et ROUSSEL que la question de l'emploi du fer ne se pose que pour les petites installations. On fait d'ailleurs remarquer que la durée du fer bien galvanisé peut être fixée à 25 ans, alors que celle du cuivre est au moins égale à la durée ordinaire des concessions et que, au contraire du vieux fer, le prix du vieux cuivre paie les frais de sa dépose.

M. VALENSI, Ingénieur à la Compagnie générale d'entreprises électriques, n'a employé le fer que pour l'établissement de branchements de 5 ou 10 kVA en basse tension. La Section décide de demander aux Sociétés alsaciennes de distribution d'énergie le résultat de leur expérience sur les lignes en fer. Les renseignements reçus seront transmis à M. VALENSI qui établira un rapport à la 4e Section. Celle-ci, après entente avec le Syndicat des Producteurs et Distributeurs, émettra un avis dont il sera fait usage, conformément aux suggestions de M. l'Inspecteur général MONMERQUÉ.

NOTE. — *Tous les Membres de la Société qui auraient des résultats intéressants à communiquer sur la question, sont instamment priés de vouloir bien le faire connaître au siège social.*

2° *Postes de transformation et postes de distribution automatiques*, M. TAUZIN, Ingénieur à la Compagnie française Thomson-Houston.

M. TAUZIN expose que l'automaticité des postes permet, tout en réduisant le personnel, de décentraliser la distribution. On obtient ainsi, avec une augmentation du rendement global, une sécurité et une souplesse plus grandes dans l'exploitation, par la limitation des zones en dérangement.

Dans un poste de transformation automatique, le service d'une ligne est, en cas de dérangement, reporté automatiquement sur la ligne de secours, puis reporté sur la première ligne dès que le dérangement a cessé. La reprise du service normal est ainsi assurée dans le minimum de temps.

Digitized by Google

Les transformateurs, qui sont généralement à forte réactance, sont garantis par des relais spéciaux contre l'échauffement et par des relais de protection différentielle contre les court-circuits internes. Ces relais ouvrent l'interrupteur, momentanément en cas d'échauffement, définitivement, en cas de court-circuit.

La localisation des dérangements est opérée par des relais sélectifs placés sur chaque feeder. Cependant, afin de rétablir le service au plus tôt, un relais spécial referme automatiquement l'interrupteur trois fois de suite, à une cadence dépendant des conditions locales et de la capacité de l'interrupteur. Si l'interrupteur s'ouvre après la troisième fermeture, il est placé définitivement hors service.

Un dispositif spécial empêche le pompage de l'interrupteur.

Chaque interrupteur est d'ailleurs muni de son organe de refermeture, ce qui réalise la commande automatique individuelle, préférable à la commande collective au point de vue de la sécurité d'exploitation.

L'appareillage automatique est parfois réuni à l'interrupteur pour former un châssis pour service intérieur ou une cabine entièrement fermée pour service extérieur. Cette dernière disposition facilite la réalisation d'installations extérieures, extrêmement économiques.

5e SECTION. TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. TRANSMISSION PAR ONDES.

Présidence de M. Bethenod.

Séance du 20 janvier 1927. — *Ordre du jour de la Semaine de discussions d'Octobre* 1927. — Sur la proposition de M. Louis Cahen, la Section décide de mettre à l'ordre du jour de la Semaine d'Octobre 1927 un rapport sur :

1° L'état actuel des câbles téléphoniques à longue distance ;

2° Les appareils de mesure pour téléphonie ;

3° L'état actuel des communications à ondes très courtes.

M. Damoiseaux présente sa communication sur *le problème des jonctions en téléphonie automatique et notamment sur la solution apportée par la Western Electric C°.*

Le Dr Merker expose la méthode qu'il a employée pour appliquer le calcul des probabilités à l'établissement des jonctions.

Le texte de ces deux communications sera envoyé ultérieurement aux membres de la 5e Section et à ceux des membres qui en feraient la demande. Il fera l'objet d'une discussion en Section.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ [1]

TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE.

Aide-mémoire du Radio-Club de France, par A. GIVELET, ingénieur E. S. E., membre de la commission interministérielle de la T. S. F., vice-président du Radio-Club de France. Contenant toutes les données pratiques relatives à la T. S F. — Paris, impr. G. Budy et fils, 1926 ; un vol cartonné 24cm × 16cm, de 190 pages, avec figures. (Don du Radio Club de France).

GÉNÉRALITÉS.— RECHERCHES PHYSIQUES.

Les physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIIIe siècle, par Pierre BRUNET, professeur de l'Université. – Paris, librairie scientifique Albert Blanchard, 1926 ; un vol. broché 25cm × 16cm5, de 153 pages. (Don de l'éditeur).

MATHÉMATIQUES. — MÉCANIQUE.

Les fondements des mathématiques. De la géométrie d'Euclide à la Relativité générale et à l'Intuitionisme, par le Dr F. GONSETH, professeur à l'Université de Berne. Préface de M. Jacques HADAMARD, membre de l'Institut, professeur au Collège de France et à l'Ecole Polytechnique. — Paris, librairie scientifique Albert Blanchard. 1926 ; un volume broché 25cm × 16cm,5 de XIV-243 pages, avec 17 figures. (Don de l'éditeur).

FORMULAIRES, AIDE-MÉMOIRE, MANUELS, etc.

Aide-mémoire. — Formulaire de l'électricité, de la mécanique et de l'électro-mécanique, par E. PACORET, ingénieur-électricien. — Paris, librairie scientifique Albert Blanchard, 1927 ; un volume cartonné toile 20cm × 15cm de VI-1514 pages, avec 720 figures. (Don de l'éditeur).

CONGRÈS. — EXPOSITIONS. — SOCIÉTÉS. — SYNDICATS.
ANNUAIRES. — ACTES OFFICIELS.

Annuaire pour l'an 1927, publié par le Bureau des Longitudes. Avec des notices scientifiques. — Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1927 ; un vol. broché 14cm × 10cm, de VIII-703 + 76 + 37 + 68 pages, avec cartes et figures. (Don de l'éditeur).

Société d'Électricité de Guebwiller et environs. *Exposé historique* de l'origine et des 25 premières années du développement de la Société, présenté par le président à la séance commémorative du Conseil d'administration le 15 octobre 1926. — Guebwiller, imprimerie et cartonnerie du Haut-Rhin, 1926 ; une brochure 28cm × 23cm, de 8 pages, avec graphique hors texte. (Don de la Société).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Electriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours sauf le Dimanche.

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Production et utilisation mécanique de l'électricité.

Les machines asynchrones à champs tournants à bagues et à collecteur, par Richard Langlois. — Un vol. $25^{cm} \times 16^{cm}$. de 260 pages, avec 120 figures. Dunod, éditeur à Paris.

Après avoir rappelé les propriétés industrielles des machines à champs tournants, l'auteur expose dans une première partie la théorie générale de ces machines en étudiant les champs magnétiques produits par les différents bobinages et les f. e. m. induites par les flux correspondants. La méthode adoptée ici pour l'étude des machines (ou combinaisons de machines) est systématiquement basée sur l'emploi des pleins coefficients de self-induction et d'induction mutuelle (coefficients cycliques en polyphasé selon M. Blondel). La loi d'ohm appliquée aux différents circuits est écrite sous la forme complexe avec introduction d'un facteur rotationnel ou de décalage lorsqu'il s'agit d'y incorporer un décalage d'enroulements dans l'espace ou un déphasage de courants ou de tensions dans le temps. L'interprétation des équations ainsi établies permet d'en déduire les diagrammes lieu d'impédance ou de courant de la machine, l'auteur reprenant ici la méthode exposée par Ots-Chevalier. Les équations des machines à champs alternatifs sont également données.

Dans une deuxième partie, l'application de la méthode est faite aux cas particuliers du transformateur à champs tournants (régulateur d'induction), du moteur asynchrone, du moteur série à collecteur et du moteur asynchrone avec compensateur soit du type Leblanc-Latour, soit du type changeur de fréquence.

La méthode suivie est des plus rapides pour établir le diagramme de fonctionnement d'une machine et en déduire les propriétés caractéristiques. Par les exemples traités et les problèmes posés, ce livre permet à l'ingénieur de comprendre ou de prédéterminer les caractéristiques de fonctionnement des diverses machines à champs tournants qui pénètrent journellement sous des formes et des combinaisons de plus en plus diverses dans la pratique.

Appareillage. — Canalisation.

Installations électriques à haute et basse tension. — Production, transport, distribution et utilisation de l'énergie électrique, par A. Mauduit, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, lauréat de l'Académie des Sciences et de la fondation Montefiore, avec une préface de A. Blondel, membre de l'Institut; en deux volumes, 1366 pages, avec 578 figures Dunod, éditeur. (Don de l'éditeur).

Comme le dit M. A. Blondel dans sa préface, l'ouvrage de M. A. Mauduit est « une véritable petite Encyclopédie, réunissant toutes les connaissances, théoriques aussi bien que pratiques, dont peut avoir besoin l'ingénieur électricien pour étudier, projeter et réaliser un type quelconque d'installation électrique faisant appel au matériel électrique pour des applications pratiques ».

Digitized by Google

Bien que donnant à certaines théories ayant un but pratique, toute l'ampleur nécessaire, comme il l'a fait par exemple pour l'étude du fonctionnement des lignes électriques en régime permanent et en régime transitoire, l'auteur a évité tout calcul n'ayant pas d'application réelle.

M. Mauduit ne s'est pas contenté dans son ouvrage de donner les méthodes et procédés habituellement utilisés dans la pratique industrielle, il y a condensé toute sa science de Professeur et d'Ingénieur et a fait profiter son lecteur de toutes ses études personnelles et de l'expérience de sa longue pratique.

Le nouveau livre de M. Mauduit, comme son ouvrage sur les *Machines électriques* est appelé à rendre les plus grands services aux jeunes ingénieurs et aux chefs d'entreprises qui y trouveront un guide sûr et complet pour les diriger sans crainte d'erreur dans l'exécution de leurs études et projets.

L'ouvrage est divisé en dix chapitres et est suivi d'un appendice.

Le chapitre I traite des Notions fondamentales de l'Electrostatique, de la capacité des systèmes binaires ou condensateurs simples, des propriétés des diélectriques ou isolants, des effets physiologiques des courants et des accidents électriques.

Le chapitre II intitulé « Constantes et influences mutuelles électriques et magnétiques des lignes aériennes et des câbles », étudie les capacités dans les systèmes multiples ; les câbles triples sous plomb ; les capacités et influences électriques dans les lignes aériennes unifilaires et bifilaires ; les lignes triples ; les lignes triphasées à 6 fils ; l'influence électrique des lignes d'énergie sur les lignes à courant faible, l'isolement et le danger des lignes ; l'induction magnétique dans les lignes aériennes ; l'importance relative et la superposition des inductions électrique et magnétique sur les lignes à courant faible et la protection de ces lignes contre ces diverses perturbations ; l'induction magnétique dans les câbles.

Le chapitre III étudie le fonctionnement des lignes électriques en régime permanent ; l'auteur y traite de la chute de tension dans les lignes courtes à courants alternatifs, de la chute de tension dans les longues lignes, du calcul pratique des longues lignes à courants alternatifs, de la régulation de ces longues lignes par l'emploi des moteurs synchrones surexcités.

Le chapitre IV « Phénomènes transitoires dans le temps et applications », étudie la répartition d'un courant de haute fréquence dans un conducteur cylindrique : effet pelliculaire ou effet Kelvin ; la fermeture d'un circuit ; la coupure d'un circuit à courant continu ; la théorie des interrupteurs dans l'huile ; la décharge d'un condensateur à travers un circuit contenant un arc électrique.

Le chapitre V « Phénomènes transitoires dans le temps et l'espace, propagation des ondes, surtensions diverses », examine la théorie générale de la propagation dans les lignes à caractéristiques constantes ; les ondes mobiles, les ondes stationnaires ou oscillations ; les propriétés respectives spécialement au point de vue des surtensions et des surintensités des systèmes triphasés avec neutre à la terre et neutre isolé.

Les chapitres VI et VII étudient l'appareillage : isolateurs et supports isolants ; interrupteurs ; disjoncteurs, relais, contacteurs, sectionneurs, coupe-circuits ou fusibles ; régulateurs de tension et limiteurs d'intensité ; dispositifs de protection contre les surtensions, tableaux de distribution.

Le chapitre VIII « Distribution d'énergie électrique », commence par donner les lois et règlements français relatifs aux distributions d'énergie électrique, il étudie ensuite les centrales à vapeur, à moteurs de combustion interne et les centrales hydrauliques, il traite également de l'exécution mécanique des lignes aériennes : calcul mécanique des conducteurs de lignes ; calcul des supports en bois, en béton armé, métalliques et de leur armement, calcul des massifs de fondation des pylones ; efforts longitudinaux dans les lignes ; il termine par une comparaison des divers types de supports au point de vue du prix de revient de la ligne.

Le chapitre IX « Basse tension », étudie les distributions à courant continu, les accumulateurs au plomb et au nickel ; il s'étend longuement sur l'éclairage et le chauffage électriques ; il donne les règles à suivre pour l'établissement des installations électriques dans les immeubles ; étudie le prix de revient de l'énergie électrique et les différents procédés d'amélioration du facteur de puissance des installations.

Digitized by Google

Le chapitre X traite des applications de l'électricité aux mines et à la métallurgie, il étudie la commande électrique des machines d'extraction, la commande électrique des laminoires réversibles, la commande électrique des laminoirs non réversibles et des laminoirs continus ; les applications diverses aux mines et à la métallurgie, les fours électriques ; il se termine par l'examen de l'importante question de l'interconnexion des réseaux.

L'Appendice enfin est divisé en 5 parties, la première étudie les quantités complexes et les vecteurs plans ; la deuxième traite des fonctions hyperboliques ; la troisième donne l'arrêté technique du 30 avril 1924 et sa circulaire d'envoi aux Préfets ; la quatrième publie le cahier des charges type pour la concession d'une distribution publique d'énergie électrique par une commune, un syndicat de communes ou par l'Etat ; la cinquième enfin donne une table des fonctions hyperboliques de variables réelles.

Ce court résumé des chapitres du traité de M. Maudult expose mieux que tout commentaire l'importance considérable de cet ouvrage, qui est le plus complet, le plus pratique et le mieux conçu de tous les ouvrages d'ensemble englobant tout ce qui concerne la production, le transport, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique, exception faite de la traction électrique qui a été volontairement écartée par l'auteur, cette question ayant fait l'objet des ouvrages de MM. Blondel et Dubois, Japiot et Perraud, H. Martin et tout récemment de celui de M. A. Bachellery.

Télégraphie et téléphonie. — Transmission par ondes.

Aide-mémoire du Radio-club de France, par Givelet, ingénieur E. S. E., membre de la commission interministérielle de la T. S. F., vice-président du Radio-club de France ; un vol. cartonné 24 × 16^{cm}, 191 pages, 1926. (Don de l'auteur).

Cet ouvrage expose quelles sont les sources d'énergie utilisées dans les postes de T. S. F. ; il décrit les organes essentiels des appareils, résistances, condensateurs, inductances, détecteurs, lampes, schémas de réception, schémas d'émission. Il contient un recueil des formules traduisant les principales lois de l'électricité appliquées en T. S. F., des documents numériques (tensions de percement, distances explosives, pouvoirs inducteurs), un tableau des mesures anglaises. Six pages sont consacrées aux mesures courantes en T. S. F. On y trouve l'alphabet Morse, les abréviations à employer dans les transmissions, la liste des principaux postes du monde, celle des sociétés et publications de T. S. F., un vocabulaire en cinq langues des principaux termes employés et enfin une partie législative contenant : les modèles de déclaration des postes récepteurs et de demande d'autorisation des postes émetteurs, le décret du 24 novembre 1923 sur les postes privés.

Cet aide-mémoire, rédigé par un ingénieur exceptionnellement compétent, contient tout ce qu'il est nécessaire à un amateur de connaître pour monter un poste et pour s'en servir. Les nombreux schémas qu'il contient se lisent avec une facilité extrême et les renseignements de toute nature que l'on y trouve sont ordonnés et exposés avec une clarté parfaite.

Die Fernsprechanlagen mit Wahlerbetrieb (Automatische Telephonie), par Fritz Lubberger, Ingénieur principal chez Siemens et Halske ; 3^{e} édition. Munich et Berlin, R. Oldenbourg, éditeur, 1926, 1 vol. gr. in-8°, de 277 pages accompagné d'un fascicule de figures. — (Don de l'éditeur).

L'ouvrage de F. Lubberger, tout en conservant le même plan général que les éditions précédentes, s'est enrichi de la description des nouveaux systèmes de la téléphonie automatique tel que le *Strowger à directeur* et le système Ericsson. L'auteur a également reconnu la nécessité de développer plus longuement que précédemment le système « Rotary » de la Bell Manufacturing C° d'Anvers. Si l'on ajoute, naturellement, que la description du système Siemens et Halske y est faite par un spécialiste extrêmement compétent, on trouvera dans le livre de F. Lubberger un tableau intéressant de la technique de la téléphonie automatique.

Digitized by Google

L'auteur a retranché toutes les questions d'exploitation, qu'il se propose de grouper prochainement dans un ouvrage indépendant, sous le titre de *Die Wirtschaftlichkeit der Fernsprechanlagen für Ortsverkehr.*

Généralités. — Etudes théoriques. — Recherches physiques.

Les physiciens hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIII siècle. — P. Brunet. — Paris 1926, Blanchard ; un vol. broché 25cm × 16cm,5 de 153 pages. (Don de l'éditeur).

Une longue introduction expose diverses manières de concevoir l'histoire des sciences et explique la méthode que l'auteur a adoptée dans cette monographie.

L'auteur nous fait ensuite assister au développement que prit en Hollande l'emploi de la méthode expérimentale pour les sciences physiques. Abandonnant la physique cartésienne qui avait d'abord été en honneur en Hollande, Bœrhave, 's Gravesande et Musschenbrœk développèrent à l'Université de Leyde la méthode expérimentale, d'après leurs idées personnelles et sous l'inspiration de Newton et de l'Ecole anglaise. L'auteur examine en détail ce que ces savants ont dit ou écrit sur la nécessité de l'expérimentation (nécessité qui est devenue pour nous une vérité banale) et sur les conditions requises pour tirer valablement de celle-ci, par analogie ou par induction, les lois des phénomènes.

Un dernier chapitre raconte le rayonnement en France des travaux des Hollandais et la part que prirent plusieurs physiciens français, en particulier du Fay, Deslandes et l'Abbé Nollet, au développement de la méthode expérimentale.

Phénomènes diélectriques dans la Technique des Hautes tensions. — par F. W. Peek. — Traduit sur la seconde édition par R. Ackermann. — Préface de P. Girault. — Paris, Librairie Delagrave, 1925 ; un vol. 25 × 16cm, de XVI-316 pages, avec 209 figures.

Les travaux de F.-W. Peek font autorité en Amérique. Mais ils n'étaient connus jusqu'ici des ingénieurs français que par des mémoires en langue anglaise. Aussi devons-nous savoir gré à M. R. Ackermann de nous avoir donné une excellente traduction de l'important ouvrage *Dielectric Phenomena in high Voltage Engineering.*

L'auteur, après un chapitre de généralités sur le champ diélectrique, étudie en détail et à la lumière de multiples expériences, les manifestations de champ d'abord dans l'air, puis dans l'huile et les isolants liquides. Il examine ensuite la question si complexe des isolants solides. Un chapitre, que nous aurions souhaité plus développé, rappelle comment la théorie électronique peut éclairer et coordonner les phénomènes observés dans la technique des hautes tensions. L'ouvrage s'achève par des considérations d'ordre pratique sur le calcul de l'effet de couronne dans les lignes et sur l'étude des appareils où entrent en combinaison des isolants solides, liquides et gazeux. Un appendice renferme de précieuses données numériques.

Mathématiques. — Mécanique.

Les Fondements des mathématiques de la Géométrie d'Euclide à la Relativité générale et à l'intuitionisme. — Dr F. Gonseth. — Paris 1926, Alb. Blanchard ; 1 vol. broché 25cm × 16cm,5 de XIV-243 pages, avec 17 fig. (Don de l'éditeur).

Etude très intéressante, mais aussi très savante, des fondements des mathématiques et de la manière dont l'expérience et l'intuition interviennent dans la formation de l'idée des nombres, soit entiers, soit fractionnaires, soit incommensurables, et dans celle des notions géométriques. L'auteur indique comment l'évolution des idées sur l'origine de nos connaissances a conduit successivement à l'étude des géométries non euclidiennes et à la théorie de la Relativité générale. Bien des questions sont encore controversées et l'ouvrage nous fait connaître l'état actuel des controverses sur ces questions délicates qui intéressent jusqu'aux principes de la logique.

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

SOMMAIRE

I. — Comptes rendus des réunions :

Réunion extraordinaire du 20 janvier 1897 (suite) : sur l'arc électrique en vase clos, Dr. Marks. — Discussion par MM. A. Cance, E. Sartiaux, Korda, R Lamprecht, Gosselin, R Arnoux, p. 248.

Réunion ordinaire mensuelle du 3 février 1897 : Le chauffage et la cuisine électriques, M. Colin, p. 249. — Sur l'établissement des canalisations électriques à l'intérieur des habitations, M. Bonfante, p. 249.

I. — RÉUNIONS

Réunion extraordinaire du 20 janvier 1897 *(Suite)*

Présidence de M. Sciama.

M. le Docteur Marks fait l'historique des divers systèmes de lampes à arc en vase clos et il présente la lampe Pionnier, qui offre les particularités suivantes : régulateur agissant directement sur les charbons ; régulateur d'entrée d'air ; fonctionnement à 85 V ; grande longueur de l'arc. Dans ces conditions, la consommation des charbons est, par rapport aux arcs à l'air libre, réduite au 1/20 ; le prix de la main-d'œuvre de remplacement est réduit au 1/10 ; les ombres portées par les pointes des charbons disparaissent ; la lumière est uniformément distribuée ; les foyers sont rendus indépendants ; la poussière de charbon est complètement brûlée, ce qui supprime les dépôts sur le verre ; le courant reste normal à l'allumage.

M. Cance rappelle les recherches sur lampes en vase clos qu'il a poursuivies en 1879-1880 et en 1882, en vue de réduire la dépense de charbons et qu'il a abandonnées en raison de la baisse de prix de ceux-ci. M. Sartiaux relate les essais de lampes en vase clos exécutés au Laboratoire de sa Cie.

M. Korda rappelle l'emploi, par Ganz et Cie, de blocs de magnésie comprimée, formant réflecteur pour l'arc et diminuant l'usure des charbons.

M. Arnoux remarque que l'allongement de l'arc se traduit par une augmentation de consommation d'énergie.

Digitized by Google

Réunion ordinaire du 3 février 1927.

M. Colin présente les *appareils de chauffage et de cuisine électrique* établis par la Société du Familistère de Guise. Ils sont basés sur l'emploi de fils résistants en maillechort, en ferro-nickel, en platine ou en fer enrobés dans un isolant mince qui les fixe à une plaque de fonte. Après avoir rappelé les difficultés techniques à résoudre, les formules de la dissipation du calorique, il expose les divers types créés et calcule leur consommation.

M. Bonfante met en lumière, à propos de *l'établissement des canalisations électriques à l'intérieur des habitations,* la cause d'accidents graves, résultant des arcs qui jaillissent entre un conducteur et une masse métallique voisine. Il préconise de rapprocher les conducteurs de signe opposé, afin de provoquer toujours un court-circuit qui, entraînant la fusion des plombs, sera beaucoup moins dangereux qu'une terre.

II. — Extraits du Bulletin.

Du journal de la Physical Society, 27 mars 1896 : M. Fleming a étudié *l'effet Edison*, si dans une lampe à incandescence, à deux filaments, on introduit une plaque métallique, l'espace compris entre elle et le filament négatif à une conductibilité unilatérale.

L'Imprimeur-Editeur : Etienne Chiron, Paris.

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du 5 mars 1927, p. 253.
Admission de membres titulaires, p. 253.
Don à la Société, p. 253.
Don au Laboratoire, p. 254.
Annonces diverses, p. 254.

DISCUSSIONS DE LA SEMAINE D'OCTOBRE 1926 (1) (*suite*) :

4e Section : Sommaire, p. 256. — Production des arcs dans le matériel de traction à courant continu (MM. GRATZMULLER, ROTH, A. VILLIERS, FALLOU, LEBLANC, CHARPENTIER, COURTOIS), p. 257. — Définition du pouvoir de coupure des disjoncteurs à huile (MM. CHARPENTIER, SAINT-GERMAIN, KLONINGER, FALLOU, A. ROTH, KOPELIOVITCH), p. 275. — Calcul du courant de court circuit dans les réseaux triphasés (MM. FALLOU, GENKIN, ILIOVICI, KOPELIOVITCH, GRATZMULLER), p. 296. — Transformation statique du courant continu en courant alternatif (MM. GIROZ, GRATZMULLER, TOULY, DEMONTVIGNIER), p. 301. — Avantages comparés de l'électrification appliquée aux voies ferrées ou aux véhicules automobiles sur routes au point de vue de l'économie nationale. — Les trolleybus (MM. de CONINCK, PERROUSSET, FOURCAULT, GASQUET, GRATZMULLER, DARRIEUS), p. 311. — Errata, p. 324.

5e Section : Sommaire, p. 325. — Les liaisons télégraphiques et téléphoniques dans l'exploitation des distributions d'énergie électrique (MM. REYNAUD-BONIN, NEU, BRYLINSKI, LACHAT), p. 325. — Commandes à distance utilisant comme récepteurs des électro-aimants ou des moteurs à impulsion (MM. DAMOISEAUX et CARLINI), p. 335.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Digitized by Google

6e Section : Sommaire, p. 345. — La mesure du facteur de puissance d'un circuit triphasé non équilibré (MM. GENKIN, SROKVIS, ILIOVICI, PESTARINI), p. 345. — La mesure indirecte de l'énergie réactive (MM. GENKIN, ILIOVICI, LIÉNARD), p. 354. — Les cellules photo-électriques (MM. JOUAUST, VALENSI, TOULON), p. 358. — Les aciers spéciaux (MM. JOUAUST, ILIOVICI, LIÉNARD), p. 361. — La mesure des hautes tensions (MM. de la GORCE et BELLON), p. 362.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ELECTRICIENS.

a) Annonce du prix triennal George Montefiore, p. 364.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 366.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 367.

IL Y A TRENTE ANS, p. 370.

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 5 Mars 1927.

Présidence de M. Ch. Fabry

La séance est ouverte à 16 h. 15.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Bonvallet (Roger), élève à l'Ecole Supérieure d'Electricité, 23, avenue Carnot, à Vitry-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Couffon (René-Louis-Maurice), Secrétaire général de la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à gaz, 39, avenue Mozart, à Paris (16e). — Présenté par MM. Grosselin et Janet.

Courant (Jean-Jules-Joseph), Caporal au 43e Bataillon de Télégraphistes, à Beyrouth (Syrie). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

David (Henri), Chef du service de Constructions électriques à la Compagnie Electro-Mécanique, 12, rue Portalis, à Paris. Domicile, 5, rue Ravignan, à Paris (18e). — Présenté par MM. Schwarberg et Widmer.

Horlaville (Yves-Jean-Raymond), élève à l'Ecole Supérieure d'Electricité, Cité Universitaire, 21, boulevard Jourdan, à Paris (14e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Martin (Maurice-Edmond), Ingénieur en chef de la Société Française d'Electrification Rurale, 3, rue Grenéta, à Paris, Administrateur à l'Omnium Régional d'Electricité, 41, boulevard Haussmann. Domicile, 42, avenue du Chemin-de-fer, à Rueil (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. David et Aubert.

Morange (Joseph-Amédée), Ingénieur en chef d'Entretien et des Travaux à la Glacerie de Chantereine (Société de Saint-Gobain), Tourotte (Oise). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Sabbagh (Hubert), Elève à l'Ecole Supérieure d'Electricité, 39, rue Pierre-Nicole, à Paris (5e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président annonce que le Crédit Commercial de France a fait don à la Société, pour être consacrée aux besoins de la nouvelle Ecole Supérieure d'Electricité, d'une somme de 100 000 francs.

Il adresse ses plus vifs remerciements à cet Etablissement et il exprime le souhait que ce geste si généreux trouve de nombreux imitateurs.

Il annonce que la Société de la Lampe Yvel a fait don au Laboratoire Central d'Electricité d'une pompe Gaëde et adresse à cette Société les remerciements de la S. F. E.

Il remercie également les donateurs des ouvrages offerts en février dont la liste est donnée à la page 365 du présent bulletin.

Digitized by Google

Il a le plaisir d'annoncer que M. André Blondel, Membre de l'Institut, M. Pomey, Inspecteur général des Télégraphes, et M. Walckenaer, Inspecteur général des Mines, ont été promus Commandeurs dans l'ordre de la Légion d'Honneur et que M. Buffet, Ingénieur en Chef à la C. P D. E. a été nommé Chevalier.

Il remercie la Société Française des Régulateurs Universels Arca de la série de démonstrations qu'elle a bien voulu organiser pour les Membres de la Société. Un grand nombre de nos collègues ont pu assister ainsi à ces très intéressantes expériences.

Il annonce la visite que, grâce à l'intervention de notre ancien Président, M. Eschwège, M. Gouverneur, Administrateur Délégué de la Société Electrique de Travaux Agricoles, a bien voulu organiser pour le samedi 12 mars, aux champs de Labourage électrique dans la région du Vexin.

Il annonce également que la Chambre des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais, présidée par M. Cuvelette, veut bien inviter les Membres de notre Société les 30, 31 mai et 1er juin à visiter les installations électrifiées des Mines d'Anzin, de Dourges, de Courrières, de Nœux et de Marles.

Une circulaire ultérieure précisera le programme et les conditions de ce voyage.

M. le Président rend compte du dernier dîner de l'Institution of Electrical Engineers auquel il a été convié en qualité de Président de la Société Française des Electriciens ; 700 convives ont pris part à ce banquet auquel assistait S. A. R. le Prince de Galles. Notre Président a été invité à répondre, au nom des hôtes de l'Institution, au toast qui leur avait été porté et il a fait à cette occasion l'annonce de l'attribution de la Médaille Mascart à Sir J. J. Thomson, annonce qui a été accueillie par de chaleureux applaudissements.

A la fin du banquet, S. A. R. le Prince de Galles a prié notre Président de transmettre à la Société toute entière ses sentiments de très vive sympathie.

L'ordre du jour appelle les communications techniques :

M. Audibert, Ingénieur en Chef des Mines, Directeur de la Station d'Essais de Senlis, présente une communication sur « *l'emploi de l'électricité dans les travaux souterrains des mines grisouteuses* », il expose les causes de dangers spéciaux à ces mines, les applications de l'électricité qui y sont possibles.

Il conclut qu'en raison des tendances d'inflammation du grisou,

Digitized by Google

le risque inhérent à l'emploi des appareils électriques, même protégés, ne peut être accepté que dans les ouvrages où il y a un courant d'air permanent, c'est-à-dire dans les galeries de roulage, et ne peut être que très difficilement envisagé dans les tailles ou dans leur voisinage immédiat. Il ajoute que les exploitants de mines seront toujours désireux d'étudier en confiante collaboration, avec les constructeurs, la mise en service des appareils intéressants pour l'exploitation qui pourraient leur être présentés.

M. MATHIVET propose de développer le matériel électrique tout d'abord dans la région de la mine où l'air circule entièrement frais, ce qui aurait l'avantage de former progressivement le personnel du fond à l'emploi de ces appareils puis d'installer, même dans les mines grisouteuses, de petits compresseurs d'air mus par des moteurs électriques normaux.

M. NEU rappelle qu'il a été le premier à introduire les locomotives électriques dans les Mines d'Anzin.

M. LE PRÉSIDENT remercie très vivement M. AUDIBERT d'avoir exposé, avec une remarquable clarté, des problèmes très intéressants pour les électriciens ; il est un peu humiliant pour ces derniers de constater qu'il existe un milieu où ils sont considérés comme indésirables, et ils ont tout profit à connaître les dangers auxquels leur matériel expose les exploitants afin de pouvoir réaliser les dispositifs de sécurité nécessaires.

M. LE PRÉSIDENT remercie également MM. MATHIVET et NEU de leur intervention.

M. GIRAULT expose sa communication sur « *une présentation mécanique de l'hystérésis* ».

M. DE BELLESCIZE intervient au sujet d'une antériorité.

M. LE PRÉSIDENT remercie MM. GIRAULT et DE BELLESCIZE.

M. HERRY, Directeur de la Société des Centrales Electriques des Flandres, présente une communication sur *la manière de produire gratuitement un kWh de 3 000 calories*. Il projette un grand nombre de vues de la Centrale de Langerbrugge en indiquant les moyens qui y sont employés pour augmenter le rendement des installations et pour tirer du kilogramme de houille tous les sous-produits qu'il est possible d'en extraire.

M. le Président remercie vivement M. HERRY de son très brillant exposé et des progrès qu'il a su réaliser.

La séance est levée à 19 h.

Digitized by Google

SEMAINE DE DISCUSSIONS D'OCTOBRE 1926

COMPTE RENDU STÉNOGRAPHIQUE DES DISCUSSIONS

(Suite)

Séance du Jeudi 28 Octobre 1926

4e SECTION

CANALISATION. — DISTRIBUTION GENERALE. - TRACTION

SOMMAIRE :

1° Discussion du rapport de M GRATZMULLER sur la production des arcs dans le matériel de traction à courant continu. — MM. A. ROTH, VILLIERS ; fonctionnement des interrupteurs ultra-rapides, p 256. — M. M. LEBLANC : résistance au contact et amorçage d'arcs, p. 262. — M CHARPENTIER : résistance au contact : fonctionnement des disjoncteurs rapides ; transformateur tournant rétablissant la commutation après un court-circuit, p. 267 — M. COURTOIS : résistance au contact, p. 274.

2° Discussion du rapport de M. CHARPENTIER sur la définition du pouvoir de coupure des disjoncteurs à huile. — M. SAINT-GERMAIN : caractéristiques de construction des interrupteurs, p. 275. — M. KLONINGER : supériorité des contacts par bout, p. 277. — M. CHARPENTIER : réponse, p. 278. — M. FALLOU : définition du pouvoir de coupure ; nécessité d'énoncer séparément la tension et le courant coupés, p. 279. — M. SAINT-GERMAIN : influence de l'inductance du circuit coupé, p. 284. — M. A. ROTH : influence de la période propre du réseau ; des répulsions dynamiques, p. 285. — M. KOPELIOVITCH : résultats d'essais sur le pouvoir de coupure ; influence des valeurs de la tension, du courant, de la pression, du travail de rupture ; forces électrodynamiques dans les fermetures sur court-circuit ; emploi des contacts à solénoïde, p. 287. — M. le PRÉSIDENT : conclusion, p. 295.

3° Discussion du rapport de M. FALLOU sur le calcul du courant de court-circuit dans les réseaux triphasés. — M. GENKIN : applications de la méthode des coordonnées symétriques à la sélection des défauts dans les réseaux, p. 295. — M. ILIOVICI : dispositifs réalisés par la Cie des compteurs pour les relais à sélection, p 297. - M KOPELIOVITCH : principe du calcul des règles suisses pour le choix des interrupteurs, p 300. — M. le PRÉSIDENT : conclusion, p. 300.

4° Discussion du rapport de M. GIROZ sur la transformation statique du courant continu en courant alternatif. — M. le PRÉSIDENT : rappel des travaux de Maurice LEBLANC, p. 301. — M. TOULY : résultats obtenus avec les montages de Maurice LEBLANC, p. 301. — M. le PRÉSIDENT : rappel du transverter, p. 306. — MM. GIROZ, TOULY, DEMONTVIGNIER : recombinaison des ions, p. 306.

5° Discussion du rapport de M. DE CONINCK sur les avantages comparés de l'électrification appliquée aux voies ferrées ou aux véhicules automobiles sur routes au point de vue de l'économie nationale et du rapport DE PERROUSSET sur les trolleybus. — M FOURCAULT : critiques du rapport de M. DE CONINCK basées sur le retour à vide des véhicules et sur le taux des tarifs, p. 310. — M GASQUET : traction par véhicules à accumulateurs, p. 315 — M. le PRÉSIDENT : résumé de la discussion, p. 315 — M. DARRIEUS : la supériorité physique de la traction sur rails, p. 317. — M. le PRÉSIDENT : réduction des lubréfiants par les roulements à billes, p. 318. — M DE CONINCK : réponse, progrès des transports automobiles à l'étranger, p. 318. — M. le PRÉSIDENT : conclusion, p. 322. — Errata, p. 323.

Digitized by Google

Président : M. GRATZMULLER. — *Ingénieur Conseil.*

M. GRATZMULLER prie M. FALLOU de le remplacer à la présidence et résume son rapport sur la *production des arcs dans le matériel de traction à courant continu* (1). Il reprend ensuite la présidence.

M. A. ROTH, *Ingénieur aux Ateliers de Constructions électriques de Delle.* — Comme constructeur d'appareillage, je me permets de souligner l'intérêt que présente pour nous la conception nouvelle des phénomènes que provoque le passage du courant dans un contact. Présenté par un Ingénieur de la compétence de M. GRATZMULLER, cette conception nouvelle est pour nous d'une valeur toute particulière.

Il est intéressant de constater qu'une fois de plus l'application de la notion des électrons à un problème pratique, conduit à des explications inattendues là où l'on croyait voir tout à fait clair.

Les ateliers de Delle ont pu faire des essais d'ultra-rapides qui confirment, pour la plus grande partie, la théorie de M. GRATZMULLER.

Partant du point de vue exposé par celui-ci, plusieurs Compagnies de Chemin de Fer ont aperçu, très tôt, l'importance des essais d'interrupteurs de traction, dans les conditions de service les plus défavorables. Je me permets de rendre hommage, à ce sujet, à M. LE BOUCHER, Ingénieur en Chef des Chemins de Fer du Midi, qui nous a demandé de procéder dans son réseau à des essais de ce genre. Je tiens à constater, à cette occasion, qu'au cours de ces essais, les commutatrices et génératrices se sont beaucoup mieux comportées qu'on ne le suppose généralement ; je ne me souviens pas que ce matériel ait subit aucun dégât.

Les caractéristiques intéressantes ont été relevées par les moyens modernes de mesure et de contrôle : oscillographe, photographie, etc...

Nos essais ont été faits sur les réseaux du Midi, du P. L. M. et des Chemins de Fer Hollandais :

en 1924	à 1 500 V et 7 000 A
en 1925	à 1 500 V et 9 000 A
au printemps 1926	à 1 500 V et 5 000 A
avec self inductances de 30 mH.	
Eté 1926.....	à 1 500 V et 16 000 A.

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 61. Septembre 1926.

Digitized by Google

Ces dernières valeurs ont été coupées dans des temps de 0,005 à 0,006 seconde. A ma connaissance, ce sont les essais les plus puissants qui aient été faits juqu'ici sous cette tension.

Je crois donc pouvoir prétendre qu'aujourd'hui l'industrie est capable de fournir des interrupteurs à courant continu haute tension d'un pouvoir de rupture répondant aux conditions actuelles de la traction. En particulier, un interrupteur ultra-rapide a été étudié pour couper 3 000 A en 0,005 s.

1° *Longueur d'arc.* — Elle est fonction du courant à couper, de la tension du réseau, de l'intensité du soufflage et de l'inductance du réseau. Tous autres facteurs égaux, elle croît sensiblement comme la puissance 0,6 du courant, c'est-à-dire, un peu plus vite que la racine carrée de celui-ci.

Il est donc indispensable de disposer autour de l'arc de l'emplacement nécessaire. Beaucoup de constructeurs et d'exploitants oublient cette loi. Le constructeur doit indiquer les distances nécessaires à l'extérieur de la cheminée, et l'exploitant ne doit pas réduire ces distances pour ne pas risquer des amorçages à la masse et des accidents de service.

Il est exact que la rupture d'un court-circuit d'intensité maxima, est rare. Je crois cependant que la sécurité du service demande que l'on en tienne compte. Cette remarque se réfère aussi bien au choix du type de l'interrupteur qu'aux dimensions à donner aux cellules.

2° *Temps de fonctionnement.* — Il est défini par le temps qui s'écoule à partir du moment où le courant de court-circuit dépasse l'intensité normale, jusqu'au moment où il commence à diminuer. Le temps de fonctionnement dépend surtout des caractéristiques mécaniques de l'ultra-rapide. C'est seulement en deuxième lieu qu'il est influencé par les conditions du soufflage au moment de la séparation des contacts, c'est-à-dire, du temps qu'il faut à l'arc pour sortir de l'espace compris entre les contacts.

Le temps de fonctionnement est d'une grande importance puisqu'il détermine, s'il est suffisamment court, la valeur maxima atteinte par le courant à couper. Pour expliquer ce phénomène, je me reporte aux explications données par M. GRATZMULLER sur l'établissement du courant de court-circuit dans les réseaux à courant continu. En raison de la self inductance de la machine et de la ligne, le courant ne

Digitized by Google

s'établit pas instantanément, mais il croît suivant une courbe logarithmique pour atteindre sa limite après un certain temps. (Figures 1 et 2).

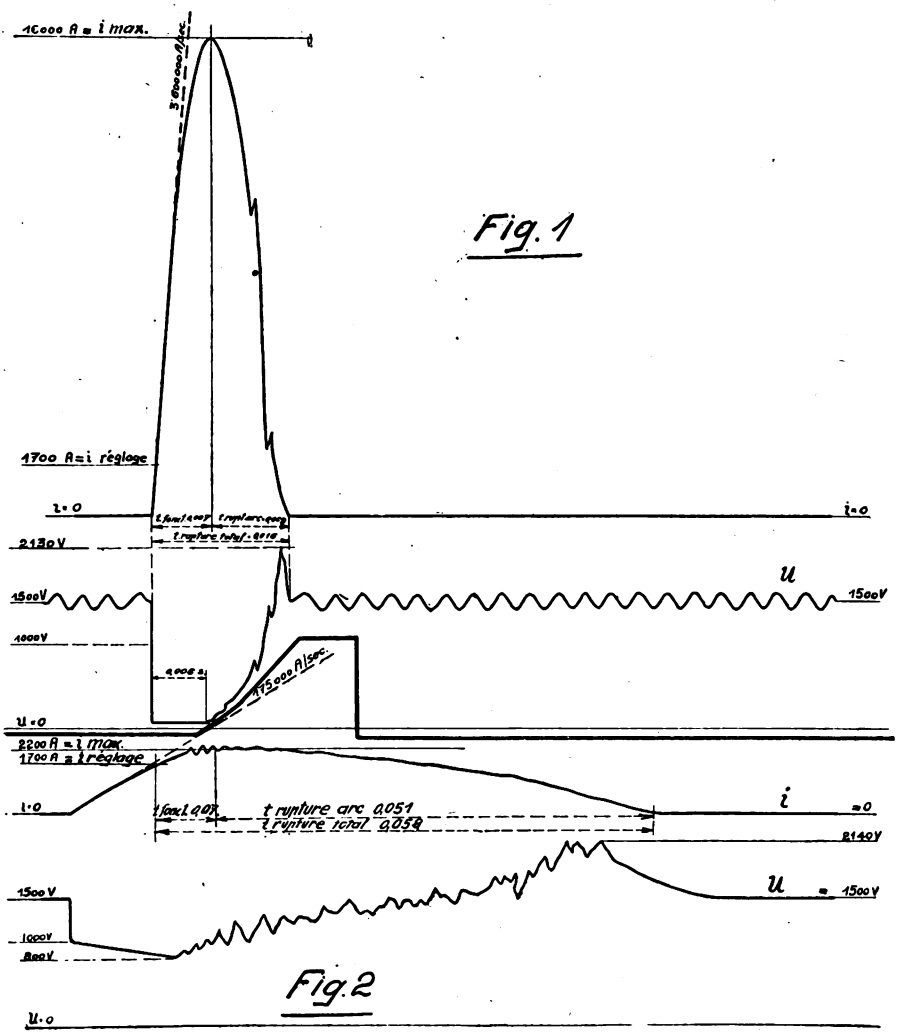


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 1. — Court-circuit entre barre omnibus et terre alimenté par 2 machines de 1 000 kw en parallèle.

Fig. 2. — Court-circuit alimenté par une machine de 1 000 kw.
Longueur de ligne : 11,8 km. Résistance : 0Ω18. Self-induction : 8 mH.

La vitesse d'établissement du courant est d'autant plus grande que la self inductance est plus petite, c'est-à-dire que le court-circuit est plus proche de la sous-station. Dans nos essais de coupure de 16 000 A sous 1 500 V, le courant est monté à une allure de 3 600 000 A par

Digitized by Google

seconde. Nous avons choisi pour nos ultra-rapides un temps de fonctionnement de 5 à 6 millièmes de seconde. L'allure logarithmique de l'établissement du courant empêche de pousser trop loin la limitation de ce dernier. Les oscillogrammes des essais montrent, par exemple, qu'avec un temps de fonctionnement de 2 millièmes de seconde, on n'aurait limité le courant qu'à 9 000 A.

En tenant compte de ce que les difficultés de construction des interrupteurs pour fortes intensités normales (à partir de 1 000 A) augmentent beaucoup avec la vitesse, on détermine le temps optimum pour la construction.

3° *Temps de rupture de l'arc.* — Il est défini par le temps qui s'écoule entre le moment où le courant atteint sa pointe (donnée par le temps de fonctionnement) et le moment, marqué par l'extinction de l'arc, où la rupture est terminée.

S'il est intéressant de réduire autant que possible le temps de fonctionnement, le temps de rupture ne doit pas être trop abrégé. Il détermine la vitesse de la diminution du courant et par conséquent, comme l'a expliqué M. Gratzmuller, la valeur de la surtension, laquelle est donnée par l'expression $-L\frac{di}{dt}$. Il est vrai que la réduction de ce temps est intéressante au point de vue des dégâts qu'occasionne, dans le réseau, le courant de court-circuit et au point de vue du danger du flash. Les résultats de la pratique me semblent prouver qu'un ordre de grandeur de 10 millièmes de seconde pour le temps de la rupture est satisfaisant. Nous avons choisi pour nos interrupteurs 8 millièmes de seconde.

J'insiste ici sur un phénomène où l'expérience semble donner tort à la théorie il s'agit de la prévention des flashs ; il doit y avoir un facteur qui intervient, en dehors des causes qui viennent d'être indiquées.

J'ai eu l'occasion de faire des essais sur le rapport entre le temps de rupture total d'un ultra-rapide (temps de fonctionnement plus temps de rupture de l'arc) et l'apparition des flashs avec une commutatrice à 1 500 V. On trouvait qu'il n'y a pas de rapport entre le temps de passage d'une lame d'un balai à l'autre et l'apparition du flash. Le flash se produisait, parfois avec un temps de rupture total de 5 millièmes de seconde et d'autrefois ne se produisait pas, avec un temps dépassant 13 millièmes.

Digitized by Google

A ma connaissance, aucun des ultra-rapides en service ne donne un temps total de rupture inférieur à 10 millièmes de seconde et cependant ils évitent complètement les flashs.

4° *Influence de l'inductance.* — Elle ressort très nettement des essais exécutés. Elle est tout à fait différente dans les deux périodes de la coupure. Elle détermine la vitesse d'accroissement du courant. Par exemple, 7 km de caténaire étaient suffisants pour diminuer l'inclinaison de la tangente de 3 600 000 à 100 000 As. L'enroulement en série du stator d'un moteur a la même influence (flashs sur le moteur). Par conséquent, l'ultra-rapide limite beaucoup plus bas le courant maximum pour le même temps de fonctionnement de 5 millièmes. La pointe n'a pas dépassé 3 000 A. Il est évident que, sans l'intervention de l'ultra-rapide, la valeur maxima aurait aussi été diminuée par la résistance de la ligne.

Dans la *période de rupture*, l'inductance augmente la longueur ainsi que la durée de l'arc, parce que le facteur $L \frac{di}{dt}$ qui représente une force électromotrice tend à le maintenir et augmente sa longueur. Si $\frac{di}{dt}$ est trop grand par construction, le fonctionnement de l'appareil est compromis. Heureusement, dans les cas pratiques où L est grand, l'intensité à couper est réduite, pour les deux raisons mentionnées ci-dessus.

5° *Surtensions.* — Le mot même « d'ultra-rapide » a donné naissance à des malentendus. Leur caractéristique particulière est la brièveté du temps de fonctionnement, non du temps de rupture pour lequel ils ne diffèrent guère des interrupteurs lents. Ils donnent, par conséquent, les mêmes surtensions de rupture.

Pour étudier les phénomènes, nous avons procédé à des essais de court-circuit au cours desquels nous avons fait varier de 1 à 13 km la longueur de la caténaire en circuit. La surtension maxima a été obtenue pour une longueur de 3 km. Ce fait s'explique facilement puisque l'inductance croît avec la distance, tandis que la valeur maxima du courant diminue. La valeur du courant était de 3 500 A. La tension aux bornes de l'arc était de 4 500 V se répartissant entre 2 500 V positifs du côté de la machine et 2 000 V négatifs du côté du réseau.

J'insiste sur ce fait, qu'au point de vue diélectrique, ce cas défa-

Digitized by Google

vorable lui-même n'est pas dangereux, le matériel des réseaux de ce genre étant essayé sous une tension d'au moins $5\,000\ \sqrt{2} = 7\,000$ V. Il résulte des oscillogrammes que la surtension est nettement égale au produit $L\ \frac{di}{dt}$ comme il découle des explications théoriques de M. GRATZMULLER.

6° *Rupture en deux temps.* — La question de savoir si l'on doit couper les court-circuits en un temps ou en deux (c'est-à-dire en insérant au premier temps une résistance) ne me semble pas du tout tranchée. Je suis personnellement l'adversaire du dispositif en deux temps. Il est vrai qu'il permet de réduire la surtension, et par conséquent la longueur d'arc. Mais il n'est pas moins sûr qu'il crée une complication de l'installation et de l'appareillage, d'où diminution de sécurité, augmentation des frais et de l'entretien. La simplicité est reconnue, aujourd'hui, comme une des qualités prépondérantes d'une installation.

Je crois avoir démontré, dans l'étude des surtensions, qu'à ce point de vue, on peut très bien se passer d'une protection additionnelle. Je cite, du reste, la pratique américaine qui vient d'abandonner, dans ses stations à 600 V les plus récentes, la rupture en deux temps.

A mon avis, il ne reste plus qu'un phénomène à éclaircir, la surtension, lors de la rupture d'un court-circuit dans le réseau, peut-elle produire des flashs sur les moteurs en service ? On prétend avoir fait des expériences à ce point de vue. J'aimerais mettre en discussion la question : « Est-il, ou non, nécessaire de mettre une résistance, c'est-à-dire, de couper en deux temps, non seulement au point de vue des commutatrices, mais à tous les points de vue ? »

M. LE PRÉSIDENT. — J'ai eu l'occasion de visiter les Ateliers de Delle et de constater qu'on y construit un matériel remarquable. Quelles dimensions donnez-vous à vos ultra-rapides ?

M. A. ROTH. — Les interrupteurs ont environ 1,3 m de longueur, 1,6 m de hauteur, 0,56 m de largeur.

M. VILLIERS. — Nous avons essayé un certain nombre de disjoncteurs ultra-rapides sur un réseau à 600 V avec une machine de 750 kW. Nous avons constaté que lorsque les disjoncteurs coupaient en 0,006 s il se produisait inévitablement un flash ; il a fallu, pour éviter le

Digitized by Google

flash, couper en moins de 0,004 s. Nous n'avons trouvé qu'un seul appareil remplissant cette condition.

Quand M. Roth parle de couper des courants de 30 000 A nous sommes surpris, car si le disjoncteur est vraiment ultra-rapide, le courant ne doit pas avoir le temps d'atteindre cette valeur.

M. le Président. — J'ai assisté à vos premiers essais. M. Roth a-t-il constaté que des commutatrices peuvent flasher après la rupture du courant continu ?

M. Roth. — J'ai pu constater que c'était le cas le plus fréquent.

M. le Président. — Il y a 20 ans, j'avais mesuré le déplacement d'une commutatrice en charge en munissant deux commutatrices de plateaux en tôle perforés suivant un cercle de même rayon. Les commutatrices, alignées, tournaient en sens inverse et je mesurais le déplacement d'un rayon lumineux traversant les trous des plateaux.

M. Maurice Leblanc. — Je désire dire quelques mots au sujet de la production des arcs dans le matériel de traction à courant continu.

Le passage d'une quantité d'électricité d'une surface conductrice « A » à une autre surface « B » avec laquelle elle est en contact, cause une certaine dépense d'énergie. Pour la justifier, on admet que le courant électrique doit vaincre à la surface de séparation une certaine résistance électrique dite *résistance de contact*, sur l'origine de laquelle on ne fournit d'ailleurs aucune explication. M. Gratzmuller qui a rencontré cette difficulté dans les phénomènes de commutation, propose d'admettre que le passage du courant s'y fait par l'intermédiaire d'une couche gazeuse contenant des électrons ou des ions et d'étendre cette hypothèse au cas général du passage du courant entre deux surfaces métalliques, qu'elles soient au repos ou en mouvement l'une par rapport à l'autre. La dépense d'énergie au contact est en effet proportionnelle au courant (en fait elle croît un peu plus vite) au lieu d'être proportionnelle au carré du courant comme elle le serait si elle était due à une résistance ohmique et, par suite, on est amené à penser qu'elle pourrait être causée par la nécessité pour le courant électrique de franchir une différence de potentiel fixe comme il en existe à la surface des électrodes dans la décharge électrique (effluve ou arc) ou dans la couche double qui existe à la surface des conducteurs.

L'affirmation de M. Gratzmuller que deux corps solides ne

Digitized by Google

peuvent se toucher qu'en trois points géométriques, n'est valable que pour les corps parfaitement rigides que considère la mécanique rationnelle ; les corps réels sont déformables et l'étendue de leur surface de contact varie avec la pression qui les appuie l'un contre l'autre ; en particulier, deux surfaces métalliques planes qui nous paraissent polies sont en réalité hérissées de pointes qui se déforment sous l'effet de la pression en multipliant les points de contact. Physiquement, deux points a et b appartenant aux deux surfaces A et B sont en contact, si leur distance est inférieure au rayon d'activité moléculaire qui est de l'ordre de 10^{-8} cm. Il est probable néanmoins que, si grand que soit en valeur absolue le nombre des molécules en contact des deux surfaces, il est cependant encore très petit vis-à-vis du nombre total des molécules compris dans les deux surfaces, sinon nous aurions entre elles des phénomènes d'adhérence dus à l'attraction moléculaire, comme on peut en observer entre deux surfaces travaillées optiquement, ou comme ceux qui donnent lieu au phénomène de la soudure.

Il est donc parfaitement possible que le courant électrique tende à passer sous une forme quelconque, effluve, arc ou décharge électronique pure, d'une surface à l'autre en dehors de ces points de contact trop peu nombreux.

Nous nous proposons d'examiner quel appui apportent à cette hypothèse les travaux qui ont été faits sur les décharges électriques de très courte longueur.

Si on établit théoriquement la relation qui détermine, dans le cas le plus général, la différence de potentiel V nécessaire pour faire passer et maintenir une décharge entre deux surfaces situées à une distance d, on trouve que, lorsque d tend vers zéro, V devient infini et que par suite il n'est pas possible de faire passer une décharge entre deux surfaces très voisines, du moins par le mécanisme qui les provoque à des distances plus grandes.

En fait, c'est ce que l'expérience montre quand, à pression constante, on diminue la distance explosive ; lorsque cette distance tombe au-dessous d'une certaine limite inversement proportionnelle à la pression, et qu'on appelle *longueur d'étincelle critique*, la différence de potentiel passe par un minimum.

Par exemple, la longueur d'étincelle critique dans l'air à la pression atmosphérique est de 10^{-3} cm environ, comme on peut le voir d'après les nombres ci-dessous déduits des expériences de Carr (*Proc. Roy Soc.*, t. XXI 1903, p. 374).

Digitized by Google

Distance explosive en cm		Potentiel explosif en volts
0,266	10^{-3}	548
0,532		371
0,798		357
1,330		376
2,660		472

Les expériences au-dessous de cette distance critique de 10^{-3} cm sont naturellement difficiles.

Néanmoins, FARHART (*Phil. Mag.* 6e série, F. I. 1901, page 147), a fait des essais sur des longueurs d'étincelles de l'ordre de 510^{-4} cm. Elles mettent en évidence que le potentiel passe par un maximum, quand la distance explosive devient inférieure à 3×10^{-4} cm, ensuite il diminue et semble lui devenir proportionnel. La plus petite différence de potentiel observée fut 32 volts pour une distance explosive de 3×10^{-5}.

KINSLEY (*Phil. Mag.*, 6e série, t. IX, 1905, page 692), a fait des expériences dans lesquelles la distance explosive était de 3×10^{-7} cm et le potentiel explosif de 1 volt seulement. Comme nous l'avons dit plus haut, l'intervention de phénomènes d'ionisation ne permettent plus d'expliquer le mécanisme de la décharge à ces faibles distances. La décharge semble changer de caractère quand le champ, entre les plaques, atteint 10^6 V/cm.

Or, si l'on admet que, dans les métaux, le libre parcours moyen d'un électron est de l'ordre de 10^{-7} cm (Patterson, *Phil. Mag.* 6e p. 643, 1902), on trouve qu'un champ de 10^6 V/cm est susceptible d'arracher un électron situé à cette distance d'une surface conductrice malgré l'attraction de cette dernière. Par conséquent, pour ces champs intenses, l'attraction exercée par le champ extérieur devient capable de faire sortir les électrons du métal, et de permettre alors le passage d'électricité négative d'une électrode à l'autre.

Que pouvons-nous déduire de ce qui précède au point de vue spécial qui nous occupe ? Jusqu'à des distances de 3×10^{-4} cm, on pourrait avoir un transport d'électricité par l'intermédiaire d'ions gazeux, mais les différences de potentiel nécessaires paraissent de beaucoup supérieures aux différences de potentiel de contact. L'existence d'une décharge par atmosphère ionisée pourrait sans doute être prouvée, ou infirmée, en examinant si la pression du milieu gazeux a une influence sur la différence de potentiel au contact.

Digitized by Google

Pour des distances plus courtes, la décharge peut être transportée par des électrons, les différences de potentiel nécessaires entre électrodes sont à peu près de l'ordre des différences de potentiel au contact. Mais si cette explication satisfait l'esprit, au point de vue pratique il n'y a vraiment aucune différence que l'échange d'électrons ait lieu directement entre molécules de A et molécules de B ou à travers une couche d'air excessivement mince.

Dans la commutation, il y a constamment changement de points de contact et en outre on peut avoir échauffement local par frottement des deux surfaces. Ces conditions pourraient faciliter la production constante d'arcs de rupture transportant une quantité appréciable d'électricité. Il est par suite intéressant d'examiner ce qui se passe dans le cas général d'une rupture de contact avec séparation des électrodes à petite distance. Nous ferons quelques emprunts à un travail de HERBERT E. IVES (Journal of the Franklin Institute Octobre 1924), dont les essais ont été faits en vue de l'amélioration des ruptures dans des relais téléphoniques, et limités malheureusement en conséquence à des débits faibles, de l'ordre de l'ampère.

Il s'est proposé d'examiner ce que devenait l'équation caractéristique de l'arc :

$$e = \alpha + \beta l + \frac{\gamma l + \delta}{i^n}$$

quand l tend vers 0. Si on opère à courant constant, e tend alors vers $\alpha + \frac{\delta}{i^n}$. En réalité, l'expérience montre que cette équation est en défaut pour les très petites valeurs de l, la tension croissant plus vite qu'elle ne l'indique. Néanmoins, on trouve que e tend vers une limite différente de 0 ; si on porte sur une courbe les valeurs limites de e correspondant à une série de valeurs de i, on obtient ce qu'on est convenu d'appeler la *caractéristique d'arc de longueur zéro.*

Si nous appelons i_k la valeur du courant à travers le contact et e_k la tension à ses bornes, E la force électromotrice et R la résistance en série avec le contact, on a, à chaque instant :

$$e_k = \mathrm{E} - \mathrm{R}i_k$$

La relation entre e_k et i_k est représentée par une droite :

Si, pendant l'ouverture du contact, cette ligne coupe la caractéristique de longueur zéro, il s'amorce entre les contacts un arc qui est

Digitized by Google

stable. Si les contacts s'écartent, l'arc subsiste tant que R est assez grand pour assurer sa stabilité (condition de stabilité de BLONDEL) puis finalement il se coupe. Les oscillogrammes mettent bien en évidence les différentes phases du phénomène.

Pour chaque valeur d'un courant initial donné $i_k = \frac{E}{R}$, il y a une valeur minimum de E au-dessous de laquelle on ne coupe pas la caractéristique d'arc zéro et pour laquelle on n'a pas d'arc. Mais si, les contacts continuant à s'écarter, la tension entre eux atteint 300 V, il y jaillit une étincelle disruptive (cette valeur doit correspondre au potentiel explosif minimum dans l'air à la pression atmosphérique qui est généralement admis comme étant égal à 351 V). Dans le cas où l'on coupe un circuit inductif, on atteint généralement cette valeur de 300 V. Des examens spectrographiques montrent qu'on a bien à faire dans certains cas à un arc, dans d'autres à une étincelle.

Pour chaque espèce d'électrodes et chaque longueur d'arc, il existe un courant minimum au-dessous duquel il n'est pas possible d'amorcer un arc, quelle que soit la tension dont on dispose. Par exemple (*Stark Ann Physik*, 12, 1907, p. 692), pour une longueur d'arc de 0,18 cm on trouve :

Electrodes en charbon	0,013	ampères ;
— cuivre	0,45	—
— platine	1,5	—

Les caractéristiques d'arc de longueur zéro entre électrodes métalliques sont limitées à un courant minimum (0,4 A correspondant à 50 V pour l'or, 0,7 A pour le platine) au-dessous duquel la décharge passe dans l'air à 300 V. Ce point n'a pas été observé entre contacts en charbon.

Ces expériences montrent que toute décharge d'intensité suffisante est un arc, et que le passage de cet arc exige une différence de potentiel qui ne tend pas vers zéro en même temps que la longueur de l'arc et qui, même dans le cas très favorable de deux électrodes en charbon et de densités de courant très élevées, semble plus grande que les différences de potentiel au contact généralement observées.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. MAURICE LEBLANC de nous avoir montré l'intérêt que nous avons à nous tenir au courant des théories de physique pure. Dès 1913, j'avais parlé d'ionisation à propos de

Digitized by Google

la commutation. Il me paraît excellent que le point de vue physique soit rapproché, dans nos discussions, des résultats pratiques que nous apportent les constructeurs et les exploitants.

M. CHARPENTIER. — M. GRATZMULLER a envisagé principalement les contacts dans les surfaces en mouvement, avec pressions transversales réduites, comme ceux des balais avec les collecteurs.

Dans ce genre de contacts, la pression est de l'ordre de 100 g/cm². Cette pression est d'ailleurs très incertaine, en raison des vibrations imperceptibles des balais, dues aux irrégularités du collecteur.

Le frottement des lames en mouvement sous les balais a, d'autre part, pour effet de briser constamment les aspérités par lesquelles les surfaces viennent en contact, ce qui se traduit par l'usure.

Il est donc possible, dans ce cas particulier, que le contact soit réellement rompu par places et qu'il y ait interposition momentanée d'une pellicule d'air ionisée par le mouvement des particules arrachées aux électrodes et sans que la conductibilité du passage soit notablement modifiée.

Mais, dans le cas général de surfaces fixes en contact sous une pression de l'ordre de celles qu'on emploie en appareillage, c'est-à-dire de 2 à 100 kg/cm², il ne peut plus être question de pellicule d'air interposée.

Si l'on considère les quelques aspérités de chaque surface qui viennent d'abord au contact, quand on rapproche les deux surfaces, ces aspérités ont une superficie infinitésimale.

Quand on comprime les deux surfaces l'une sur l'autre, avec les pressions mentionnées plus haut, la pression par mm² sur les quelques aspérités en contact tend à atteindre des valeurs énormes.

Ces aspérités se déforment et s'écrasent bien avant que la pression ait pu atteindre ces valeurs ; d'autres aspérités viennent en contact et s'écrasent à leur tour.

Finalement, le contact est constitué par une infinité de petites surfaces, ou si l'on préfère, par une infinité d'agrégats de molécules serrées les unes dans les autres avec des pressions équivalentes, sinon supérieures, à celles qui correspondent à la cohésion dans un solide continu.

Cela est si vrai que, si l'on mesure la résistance de contact de la connexion de deux barres dont les extrémités sont serrées l'une sur l'autre avec des pressions croissantes, cette résistance est déjà infé-

Digitized by Google

rieure à celle d'un joint soudé à l'étain quand la pression atteint environ 50 K/cm². La nature véritable d'un contact est évidemment une notion liée à celle de la constitution intime de la matière, mais le passage de l'électricité dans un contact n'est pas un phénomène différent de celui du transport électronique dans un conducteur.

Comme le rappelait M. Maurice LEBLANC, le potentiel explosif minimum dans l'air est 350 V.

Donc, si l'on applique à deux conducteurs une différence de potentiel inférieure et que l'on diminue indéfiniment leur distance, aucun courant ne pourra franchir l'intervalle, *si petit qu'il soit*. Un galvanomètre placé en série avec l'intervalle, ne se mettra en mouvement que lorsque l'intervalle cesse d'exister et que les molécules des deux conducteurs *entrent en contact*. Ce moment est caractérisé par le passage des charges électriques d'un conducteur à l'autre et, si la source d'électricité est statique, un équilibre s'établit et l'ensemble des deux conducteurs se met au même potentiel.

Ce cas limite peut également être reproduit en séparant progressivement deux conducteurs primitivement serrés l'un contre l'autre par un ressort, un deuxième ressort plus faible agissant dans le sens de l'éloignement des deux conducteurs. Si l'on diminue progressivement la tension du premier ressort et si l'on applique momentanément une différence de potentiel inférieure à 350 V aux deux conducteurs, après chaque réduction de pression, l'ensemble des conducteurs restera au même potentiel jusqu'au moment où l'on créera un intervalle d'air entre les conducteurs ; ces derniers reliés aux deux pôles de la source prendront alors des charges de signes contraires, et un électromètre révélera la différence de potentiel.

Si maintenant on prend un conducteur continu et si, par des moyens mécaniques ou chimiques (scission, traction, dissolution), on cherche à séparer le conducteur en deux tronçons, il arrivera un moment où il sera possible d'établir une différence de potentiel permanente entre ces tronçons, en les reliant aux pôles d'une source. Ce moment se présentera quand la ou les dernières molécules, communes aux deux tronçons, seront séparées de l'un d'eux, par une ou plusieurs molécules d'air. Donc, si, mécaniquement, on ne sait pas très bien ce qu'est un contact, il est possible électriquement de le définir avec une certitude suffisante et on pourra dire :

Deux conducteurs sont en contact électrique quand des charges

Digitized by Google

électriques sont susceptibles de passer de l'un à l'autre, de telle sorte que les 2 conducteurs se mettent au même potentiel.

Or, c'est précisément le caractère propre aux corps dits conducteurs, de permettre aux charges électriques de se déplacer librement à leur surface et rien ne distingue à cet égard un conducteur continu de deux conducteurs en contact.

Un contact considéré de cette manière pourrait s'appeler un « *contact statique.* »

Si l'on sépare deux conducteurs en contact, ou si l'on tronçonne un conducteur pendant le passage d'un courant, les phénomènes prennent une toute autre allure. La dernière molécule en liaison doit assurer le passage du courant total ; sa température s'élève, la structure du métal s'altère, la cohésion disparaît jusqu'à la fusion, puis le métal se volatilise. Si l'intervalle est suffisant entre les deux conducteurs et si la tension du circuit le permet entre les deux conducteurs, il y a ionisation, étincelle, ou arc. Les molécules d'air avoisinant la dernière liaison peuvent être portées à une température suffisamment élevée pour participer à l'ionisation du milieu.

On a ainsi ce que j'appellerai le « *contact dynamique* ».

C'est évidemment ce dernier qu'il faut considérer quand on veut se rendre compte de ce qui se passe sous les balais d'un collecteur.

Ici, la matière du balai est déjà mécaniquement désagrégée par le frottement. Suivant la quantité d'électricité dont les molécules de liaison doivent assurer le passage, au moment où elles se détachent du bloc, elles seront portées à température plus ou moins élevées et une ionisation locale de l'intervalle pourra avoir lieu. Ceci explique les étincelles qui se produisent sous les balais et non seulement aux arêtes, quelle que parfaite que soit d'ailleurs la commutation proprement dite.

Il y a une troisième sorte de contact ou, si l'on veut, d'état de contact, dont M. Maurice Leblanc a présenté une étude fort intéressante ; c'est le contact dans les cohéreurs. Et ici s'introduit la notion de résistance de contact, qui prend deux aspects bien différents suivant la pression qui tend à rapprocher les molécules des surfaces en contact.

En appareillage, on ne devrait employer que des contacts à fortes pressions. On le fait pour les barres de connexions et on peut le faire, aussi, pour les contacts mobiles ou momentanés. Ces pressions seront de l'ordre de celle de la cohésion, et correspondent donc à un rap-

Digitized by Google

prochement des molécules, analogue à celui qu'on rencontre dans un métal continu.

La résistance d'un contact de ce genre tend vers zéro, quand la pression croît indéfiniment.

Dans la pratique, on la trouve égale à quelques microhms, avec des pressions de 50 K/cm² environ. Cela tient à ce que la pression n'est pas uniforme, par suite des inégalités de la surface comprimée et, en outre, des impuretés et, principalement, de la présence d'une pellicule d'oxyde qui se forme très rapidement sur le cuivre.

On évite dans une certaine mesure la formation de cette pellicule d'oxyde, en vaselinant les surfaces, après les avoir polies à l'émeri.

J'ai réalisé, en traction, des contacts qui, en régime continu, restent froids, alors que les barres de connexion voisines s'échauffent d'une façon appréciable.

Au contraire, le contact « statique » dont j'ai parlé plus haut, et qui est réalisé par simple rapprochement sans pression, ne peut permettre le déplacement que de faibles quantités d'électricité, parce que ce déplacement n'a lieu qu'entre un nombre de molécules très réduit et dont l'intervalle moléculaire (dans l'éther, et non dans l'air) est beaucoup plus grand que dans un métal continu.

La résistance d'un grand nombre de ces contacts en série peut être évidemment très élevée, comme cela a lieu dans un cohéreur.

Par quel mécanisme l'énergie radiante peut-elle favoriser le déplacement d'électricité dans l'intervalle moléculaire ? Cet effet n'a-t-il pas lieu également dans les détecteurs à cristaux et électrolytiques, où le déplacement est même favorisé à travers un diélectrique ? Les limailles du cohéreur ne sont-elles pas recouvertes d'une mince pellicule d'oxyde et le contact, au lieu d'avoir lieu par molécules métalliques, ne se fait-il pas sur molécules d'oxyde ?

Mais je ne crois pas qu'on puisse invoquer une modification du potentiel explosif par le passage des ondes sur un intervalle d'air. La décharge passée, l'intervalle d'air subsisterait et il n'y aurait pas besoin de secouer le cohéreur pour rétablir sa résistance. Nous sommes là dans le domaine des contacts « *imparfaits* » qui ont lieu entre corps de conductibilité très variable et très incertaine, où le déplacement électrique est très lent, mais qui peut être activé par des décharges à haute fréquence.

En électrotechnique, on cherche, au contraire, à réaliser des contacts exempts d'oxydes, en graissant les surfaces et, pour les contacts mo-

Digitized by Google

biles, à rôder, par un frottement énergique, les pellicules d'oxyde qui peuvent se produire, comme on le fait pour les contacts à glissement des contacteurs de traction, ainsi, d'ailleurs, que dans les nouveaux disjoncteurs à air que je fais construire à Jeumont.

Je ne mentionnerai qu'en passant les contacts des disjoncteurs à huile, où il ne peut être davantage question de pellicules d'air interposées, pour en revenir aux étincelles et aux arcs dans le matériel de traction.

La protection des commutatrices contre le flash au collecteur est une question qui est loin d'être épuisée. Les disjoncteurs ultra-rapides ont donné une solution relative, qui a revêtu longtemps la forme de la coupure en deux temps, au moyen d'une résistance et d'un deuxième disjoncteur quelconque. Aujourd'hui, on a tendance à revenir à la coupure rapide en un temps, sans doute parce que le maintien de

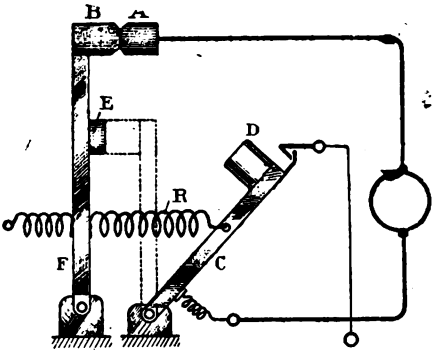


Fig. 3. — Appareil d'essai à coupure rapide.

la surcharge et du déséquilibre des flux dans l'induit, accentue le pompage et nuit à une bonne commutation.

Mais je ne crois pas, même dans ces conditions, que le disjoncteur ultra-rapide soit un remède définitif, à moins de recourir à une construction peu économique de la commutatrice.

Certains constructeurs pensent obtenir la suppression des flash parce qu'ils ont accéléré de quelques millièmes de seconde l'insertion d'une résistance de limitation. Cela dépend beaucoup de la machine essayée, ainsi que de la puissance et des caractéristiques du réseau triphasé qui l'alimente.

Pour m'en rendre compte, j'ai essayé d'obtenir des coupures excessivement rapides sur une commutatrice de 1 500 V, il est vrai un peu poussée comme nombre de tours et réduction d'encombrement.

Digitized by Google

A cet effet j'avais construit l'appareil ci-contre (*fig.* 3).

La commutatrice est branchée, d'une part, au contact fixe A et à un levier mobile C pourvu d'un contact de grande masse et sollicité par de puissants ressorts R, vers un levier F, isolé de C et muni d'un contact E vers son milieu et d'un autre, B, appuyé momentanément sur le contact A. Quand on lâchait le levier C, le contact D venait frapper E avec toute la violence acquise par la masse de D, et mettait la commutatrice en court-circuit par C. D. E. B. A. Mais le choc ouvrait aussitôt le contact A, B, et l'arc entre A et B était soufflé magnétiquement.

La mesure à blanc par la méthode de la perte de charge d'un condensateur, donnait un intervalle de temps de 2×10^{-5} *secondes* entre la fermeture de D, E (naissance du court circuit) et l'ouverture de A, B. La vitesse d'ouverture du levier F était notablement plus grande que tout ce qu'on peut obtenir dans les appareils existants.

Malgré la faible durée du court-circuit, le flash n'était pas supprimé sur le collecteur à chaque opération.

Une commutatrice peut donner lieu à un flash dans la période ascendante du court-circuit, bien que le plus souvent, le déséquilibre le plus grand des flux ait lieu à la disparition du débit continu et que le flash se produise plutôt à la coupure de l'ultra-rapide.

J'estime que le remède est plutôt à chercher à l'intérieur de la machine que dans les circuits extérieurs. L'origine du flash est toujours à rechercher dans les étincelles dues à une mauvaise commutation au moment de la variation brusque du débit continu et, en particulier, à la différence de potentiel exagérée qui se produit entre lames sous le collecteur par déplacement de la zone neutre et par introduction d'un flux de commutation non approprié dans les spires en court-circuit sous les balais.

La compensation relative des flux de réaction d'induit, continue et alternative, est détruite par la brusquerie de la variation des ampères inducteurs continus, en cas de court-circuit. Par suite d'un appel excessif de courant magnétisant alternatif, le flux résultant subit un écart angulaire. Le courant watté du courant alternatif, en raison de l'impédance des circuits, ne peut réparer instantanément la perte de force vive subie par l'induit sous l'à-coup continu. Quand la puissance alternative survient, l'à-coup a disparu et l'induit est rejeté en avant du synchronisme. Il est préférable, à ce moment, que le courant continu soit coupé complètement, parce que la ligne des balais se

Digitized by Google

trouve en avant de la zone neutre (couple moteur) et que la différence de potentiel entre lames sous balais peut atteindre plus de 100 V.

La chute du courant continu laisse subsister le flux alternatif seul, et ce dernier, trouvant un chemin dans le noyau ou la culasse des pôles de commutation, renverse le signe du flux dans les spires en court-circuit.

J'ai proposé un artifice destiné à rétablir à peu près la situation des deux réactions d'induit au moment du court-circuit.

Sur l'arbre de la commutatrice et à côté des bagues, est calé un petit rotor pourvu d'un enroulement hexaphasé, qui est embroché entre les bagues et l'enroulement de la commutatrice.

Ce rotor est le siège d'un champ tournant que la rotation de la machine rend fixe dans l'espace.

Le flux ainsi créé est proportionnel au courant alternatif et, par suite, à la réaction d'induit alternative de la machine dans une carcasse fixe entourant le rotor. Ce petit stator est pourvu de deux enroulements dont les axes coïncident avec le flux du rotor. Le premier enroulement est traversé par le courant continu fourni par la machine et donne un flux proportionnel à la réaction continue ; on lui donne un sens opposé à celui du flux polyphasé du rotor.

De la sorte, on a dans le système un flux fixe dans l'espace et proportionnel à la différence des réactions continue et alternative de la commutatrice, c'est-à-dire à la réaction d'induit même de la machine.

Le 3e enroulement est un enroulement induit, alimentant quelques spires supplémentaires des pôles de commutation.

Tant qu'il n'y a pas de variation brusque, ce 3e enroulement est inactif. Il n'entre en jeu que si la *différence* entre les réactions continue et alternative de la commutatrice varie brusquement.

A ce moment, si c'est le courant continu qui croît plus vite (ascension du court-circuit) l'enroulement supplémentaire des pôles de commutation reçoit un courant réduisant le flux dans ces pôles. (Le flux fixe du rotor décroît).

Quand le courant alternatif domine (coupure du court-circuit) l'enroulement supplémentaire des pôles de commutation reçoit un courant augmentant le flux (le flux fixe du rotor croît) et s'opposant, par suite, à la réaction d'induit alternative.

Il paraît donc possible, au moyen de ce petit transformateur d'in-

Digitized by Google

tensité tournant, de rétablir toutes les conditions d'une bonne commutation en cas de court-circuit et de rendre inutile l'emploi des disjoncteurs ultra-rapides.

M. COURTOIS. — Je crois à l'existence d'un phénomène très particulier, jusqu'ici peu expliqué, qui intervient dans tout contact électrique et voici pourquoi :

On s'est ingénié à améliorer les contacts en agissant sur le facteur « pression » qui joue certainement un rôle des plus importants en l'occurrence.

Lorsqu'il s'agit de contacts entre barres ou entre plots, de contacts « bloqués » comme on dit, rien ne limite la pression qu'on peut obtenir, théoriquement au moins, si ce n'est le coefficient de résistance à l'écrasement du métal. Or, si dans les limites de la pratique on peut dire que plus la pression est élevée, meilleur est le contact, il convient d'observer que ce n'est rigoureusement vrai que jusqu'à une valeur de la pression déterminée, nettement inférieure au coefficient d'écrasement, au delà de laquelle la chute de tension sur le contact, après être passée par un minimum, tend au contraire à augmenter légèrement.

S'il s'agit de contacts dans lesquels la pression est obtenue par réaction élastique, comme cela a lieu entre les lames minces d'un balai appuyant sur un plot, par exemple, on constate que, toutes choses égales, c'est-à-dire la surface portante demeurant, en particulier, invariable, la variation de la chute de tension au contact est beaucoup plus accusée encore avec la variation correspondante de la réaction élastique que limite ici, non plus le coefficient d'écrasement, mais le coefficient d'élasticité du métal.

Il y a donc autre chose qui intervient ; sans doute une ionisation particulière qui se superpose à l'action du contact direct et c'est le résultat global que nous observons sans discriminer les causes diverses qui entrent en jeu.

M. CHARPENTIER résume son rapport sur *la définition du pouvoir de coupure des disjoncteurs à huile* (1).

M. SAINT-GERMAIN. — M. CHARPENTIER vient de nous expliquer qu'il y avait une certaine relation entre la puissance développée dans

(1) *Bulletin de la Société française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 61, Septembre 1926, p. 1003.

Digitized by Google

l'interrupteur pendant la coupure et la puissance apparente coupée, c'est-à-dire entre le produit de l'intensité du courant coupé, par la tension aux bornes de l'interrupteur à la fin de la coupure ; cela est parfaitement exact. Il en déduit que, connaissant cette relation, il pourra facilement calculer un interrupteur ; cela paraît plus difficile : la puissance développée dans un interrupteur ne fournit pas toutes les données.

M. CHARPENTIER attache une importance considérable au fait que les gaz, produits par la décomposition de l'huile, peuvent atteindre les parois de la cuve.

Mais il n'est pas certain que ces gaz soient conducteurs, ils peuvent l'être dans certaines régions voisines de l'arc et le demeurer même pendant un certain temps après extinction de l'arc ; quand ils sont sortis de l'interrupteur, on ne constate pas qu'ils soient conducteurs.

Au surplus, il est facile de placer une cloison isolante entre la paroi de la cuve et la région de l'arc, de même que pour se protéger contre les amorçages entre phases, il suffit de les séparer par une cloison isolante.

Ces cloisons, d'ailleurs, paraissent indispensables, non pour remédier à la conductibilité des gaz, mais pour empêcher que les arcs eux-mêmes, venant en contact entre eux ou avec la cuve, ne provoquent des court-circuits. En effet, sous l'action des phénomènes électromagnétiques ou dynamiques, ils se déplacent en s'éloignant des pôles et peuvent arriver au contact. Si on a pris soin d'interposer entre eux un isolant, il suffit que cet isolant puisse supporter, pendant le temps du court-circuit, la tension entre les pôles, pour éviter l'amorçage entre phases.

En conclusion, et étant donné qu'il est impossible, dans l'état des connaissances actuelles, de prédéterminer la forme et le développement des arcs, il est nécessaire de placer des cloisons isolantes entre pôles et contre les parois de la cuve des interrupteurs à huile.

Pour les appareils à moyenne tension, la cloison isolante peut être appliquée directement contre les parois ; pour ceux à très haute tension, il suffira de la placer à une certaine distance de la cuve, pour que la couche d'huile intermédiaire constitue un isolement suffisant.

Une question également très importante est la quantité de gaz formé dans l'interrupteur pendant la coupure ; elle peut être considérable. Sans faire de suppositions sur la forme que prend la bulle gazeuse, qu'elle sorte ou non de l'huile, il est certain que les gaz

Digitized by Google

formés pendant la coupure restent dans l'interrupteur pendant un certain temps. S'il s'agit d'un interrupteur fermé, et c'est le cas de plus en plus fréquent, car on évite ainsi les projections d'huile et des poussières, ces gaz vont créer à l'intérieur de l'interrupteur une pression dépendant du rapport du volume de la poche d'air sous le couvercle, au volume de gaz produit. Si nous connaissions la relation dont M. CHARPENTIER a parlé, nous pourrions plus facilement déterminer le volume de gaz produit et les pressions auxquelles un interrupteur d'un pouvoir de coupure déterminé doit pouvoir résister.

Les connaissances acquises sur ce point sont encore assez confuses. Quelques expériences ont été faites à ce sujet en Suisse et en Amérique. D'autre part, certains constructeurs étrangers ont, dans des laboratoires puissants, fait de nombreuses mesures sur leurs appareils, mais sans en publier les résultats.

Je crois également que les essais qui vont être prochainement entrepris à la C. P. D. E., nous donneront des renseignements intéressants sur cette question.

D'autre part, les pressions développées par la décomposition de l'huile au moment de la coupure, ne sont pas les seules que peuvent avoir à supporter les parois d'un interrupteur ; on sait aussi que d'autres pressions peuvent être provoquées par ce que l'on appelle l'explosion secondaire.

En effet, les gaz formés au fur et à mesure des coupures, peuvent s'accumuler dans l'interrupteur au-dessus du niveau de l'huile et former à un moment donné, avec l'air qui s'y trouve, un mélange explosif.

Il peut arriver, que lors d'une surtension, une aigrette allume ce mélange.

Dans ce cas, on sait très bien que la pression qui en résultera ne sera pas supérieure à 8 kg/cm², mais l'explosion secondaire peut être provoquée également au moment d'une coupure, du fait qu'à ce moment des gaz encore suffisamment chauds peuvent émerger de l'huile et allumer le mélange.

Si la quantité de gaz formé par cette coupure correspond, par exemple, à une pression de 2 kg/cm² dans l'interrupteur, la pression résultante pourra atteindre dans ce cas l'ordre de grandeur de 16 kg/cm².

Il s'agit là, évidemment, de circonstances tout à fait exceptionnelles et il faut tenir compte également de ce que ces pressions sont de très

Digitized by Google

courte durée ; mais, ce qu'il faut retenir, c'est que la solidité d'un interrupteur à huile, relativement aux pressions intérieures qu'il peut supporter, est une de ses qualités essentielles.

Enfin, nous avons vu que l'énergie absorbée dans un interrupteur est fonction de la durée de la coupure ; on a donc intérêt à couper le plus vite possible, quoique certaines réserves seraient à faire relativement à des vitesses de coupure par trop élevées. Mais si la longueur de coupure n'est pas suffisante, l'arc pourra subsister longtemps. La grande longueur de la coupure est donc également une qualité essentielle d'un interrupteur à huile.

Un membre. — Je ne vois pas quel intérêt présente, pratiquement, la définition de la puissance de coupure d'un interrupteur par le nombre de joules consommés. Le client ne peut pas déduire ce nombre de la valeur du courant et de celle de la tension aux bornes de l'interrupteur : seul, le constructeur peut dire si son appareil est capable de supporter un certain courant de court-circuit à une certaine tension.

M. Kloninger. — Je tiens surtout à relever dans le rapport de M. Charpentier son affirmation, qui correspond d'ailleurs exactement aux expériences que nous avons faites, et d'après laquelle les contacts seront certainement détériorés après le passage d'un courant de 15 000 à 20 000 A. Cette détérioration peut être empêchée à l'enclenchement par l'emploi de contacts compensés contre la répulsion électro-dynamique, mais elle est inévitable à la rupture.

Je suis d'avis qu'il est absolument nécessaire que cette détérioration superficielle des contacts n'entraîne pas le non fonctionnement de l'appareil lors d'un réenclenchement immédiat de celui-ci ; c'est à mon avis, une condition *sine qua non* pour la sécurité de l'installation.

En effet, il est absolument inadmissible que l'interrupteur ne puisse couper qu'une seule fois des courants supérieurs à 20 000 A et qu'à la suite de cette rupture une révision des contacts soit nécessaire.

Il est essentiel d'utiliser un type d'interrupteur permettant d'enclencher et de déclencher plusieurs fois sur les court-circuits de l'ordre de grandeur de la puissance de rupture de l'interrupteur.

Cette condition a été imposée tout d'abord par les chefs d'exploitation américains, et demande que l'on puisse enclencher successi-

Digitized by Google

vement deux fois et déclencher trois fois sur un court-circuit correspondant à la puissance de rupture de l'appareil.

Cette condition, que l'on appelle le « Cycle de travail de 2 1/2 », doit pouvoir être remplie intégralement par l'interrupteur.

L'Association des Electriciens suisses impose une condition analogue. A mon avis, elle est indispensable pour la sécurité du service.

Je tiens à faire remarquer que, pour répondre à cette condition, les contacts fermant bout à bout, c'est-à-dire, dont la surface de contacts est perpendiculaire à l'axe des deux contacts, ont à ce point de vue un avantage marqué sur les contacts glissants, c'est-à-dire où la surface de contact se trouve placée latéralement. Les contacts fermant bout à bout travailleront toujours à pleine satisfaction, même lorsque la surface de contact a été fortement détériorée par de multiples ruptures, tandis qu'avec des contacts glissants, il y a toujours danger de coincement ou d'accrochage mécanique, ce qui se manifeste par le non fonctionnement de l'appareil à la seconde ou à la troisième rupture. Ceci a été confirmé par de graves accidents qui se sont produits dernièrement avec des appareils à contacts glissants.

Il est clair que ce désagrément des contacts glissants n'a rien à voir lui-même avec le phénomène de répulsion, car les contacts glissants peuvent, tout aussi bien que les contacts bout à bout être, du moins en principe, compensés contre les effets désastreux du phénomène de répulsion électro-dynamique.

M. CHARPENTIER. — Je suis d'accord avec l'opinion exprimée par plusieurs collègues, au sujet de la possibilité de pouvoir réenclencher deux ou trois fois un disjoncteur après rupture d'un court-circuit.

Si, dans ma note, je n'ai pas précisé qu'on devait pouvoir enclencher plusieurs fois, c'est que je voulais simplement insister sur le fait que l'attaque des contacts par des arcs très puissants ne devait pas être considérée comme un obstacle au réenclenchement, à condition que ces contacts soient agencés pour permettre cette opération.

En ce qui concerne l'importance que j'attache à l'étude de la forme des gaines gazeuses des arcs, et à la limitation du pouvoir de coupure des disjoncteurs par le maintien de l'isolement de ces gaines entre elles et par rapport à la terre, certains constructeurs estiment que cet isolement est suffisamment assuré par les cloisonnements isolants des cuves, complétés par des écrans isolants disposés entre

Digitized by Google

les coupures. Mais la nécessité de tels cloisonnements confirme ma manière de voir, puisqu'ils ont précisément pour objet d'isoler les gaines. Seulement, j'estime que les gaines ne doivent pas atteindre un développement tel que les gaz à très haute température, qu'ils soient conducteurs ou non, viennent les toucher et les calciner.

Les gaz ne sont conducteurs que pendant la durée de l'arc ; l'ionisation cesse avec l'arc. Mais ces gaz à très haute température ne sont pas pour autant des isolants fameux. Quoi qu'il en soit, s'ils atteignent les cloisonnements et les calcinent, il peut n'en pas résulter d'accident immédiat ; mais, lors d'une interruption ultérieure, ils pourront toucher les cloisonnements calcinés *pendant l'existence de l'arc*, et tout se passera comme si ces isolants n'existaient plus.

J'estime donc qu'il est sage de limiter l'intensité de court-circuit admissible dans un disjoncteur à celle qui fournit un travail de rupture et un développement de la gaine gazeuse, suffisants pour provoquer une calcination des cloisonnements.

Et dès lors, l'intérêt de l'étude des gaines gazeuses reste entier.

Quant à édicter, dès maintenant, des règles de qualité d'un bon disjoncteur, et avant les études que je préconise, il me semble bien aventureux de fixer ces règles quantitativement. Une très grande coupure, une épaisseur de cuve, une solidité de capot, des attaches et des porcelaines capables de résister à plusieurs atmosphères, un matelas d'air important au-dessus de l'huile, une évacuation rapide des gaz, etc., ce sont là d'excellentes conditions de sécurité. Mais dès l'instant où il faut dimensionner économiquement, des chiffres sont nécessaires, qui doivent être suffisants. Une doctrine de construction, si perfectible qu'elle soit, est préférable aux inspirations de la fantaisie et du hasard.

M. Fallou. — Il est d'usage de définir le pouvoir de coupure d'un interrupteur par un nombre obtenu en multipliant la tension de service de l'appareil par le courant maximum qu'il est supposé pouvoir couper.

Si l'appareil est destiné à un réseau monophasé, ce produit exprime, dit-on, la « puissance » que peut couper l'interrupteur.

Lorsqu'il est destiné à un réseau triphasé, qu'il soit alors constitué par un appareil unique ou par trois appareils monophasés, on multiplie encore ce produit par $\sqrt{3}$, et on obtient de nouveau la « puissance » que peut couper l'interrupteur.

Digitized by Google

Cet usage est devenu tout à fait courant tant chez les exploitants que chez les constructeurs, et la plupart de ces derniers étiquettent aujourd'hui leurs interrupteurs en kilovolts-ampères au même titre que des moteurs, des transformateurs, ou des générateurs de puissance.

Tant qu'il ne s'agit que d'un classement entre les appareils sortant d'un même atelier, la grandeur qui sert à les cataloguer est évidemment de faible importance ; s'il ne s'agissait que de cela, le poids de l'appareil, par exemple (ou son volume) qui représente une quantité concrète et mesurable, pourrait d'ailleurs se substituer avantageusement à ce que l'on appelle, arbitrairement, sa puissance apparente.

En fait, il est facile de concevoir l'immense part d'arbitraire que présente une telle manière de faire, et de montrer que cette notion de puissance devient particulièrement incorrecte et capable de conduire à des méprises importantes, dès que l'on tente de la sortir de son rôle d'étiquette commerciale.

1° Il est d'abord évident que la puissance de coupure ainsi définie est incapable de se suffire à elle-même.

L'expérience prouve indubitablement que la manière dont se comporte un interrupteur n'est pas seulement une fonction complexe de l'intensité du courant coupé, mais qu'elle dépend aussi, d'une manière d'ailleurs peu connue, de la tension qui apparaît entre les contacts au moment de la coupure.

Il semble donc impossible, *à priori*, de caractériser uniquement par un produit de volts et d'ampères, la limite d'emploi d'un tel appareil : si un interrupteur est capable de couper 10 000 A sur un réseau à 15 000 V, il n'est nullement certain qu'il pourra couper sans dommage 50 000 A sur un réseau à 3 000 V.

Il est donc nécessaire d'adjoindre, au nombre qui indique la « puissance de coupure », celui de la tension pour laquelle on l'a calculée.

On a donc substitué bien inutilement à l'ensemble de deux grandeurs réelles et mesurables — volts et ampères — un ensemble plus compliqué — volts et kilovolts-ampères — qui comprend une grandeur arbitraire sans signification physique.

2° Mais il y a plus :

Les interrupteurs sont susceptibles de subir des essais et on doit espérer que, dans un prochain avenir, ces essais deviendront la règle

Digitized by Google

chaque fois qu'un nouveau type d'appareil sortira de chez un constructeur.

Le pouvoir de rupture doit donc faire l'objet de mesures comparatives et, si la « puissance de coupure » mesurée en kilovolts-ampères est capable de caractériser les qualités d'un appareil, il est indispensable qu'elle puisse servir de commune mesure à tous ceux qui l'emploieront.

Or, on sait que la tension qui apparaît aux bornes des contacts d'un interrupteur au moment de la coupure d'un court-circuit est toujours inférieure à la force électro-motrice de l'alternateur qui sert à faire l'essai. Nous avons indiqué, dans une note antérieure, que cette tension U est égale à la chute inductive de tension, due au courant de court-circuit I à travers la réactance de fuites ramenée à l'induit, N ω, et à travers la réactance $\lambda\omega$ branchée entre l'alternateur et l'endroit du court-circuit :

$$U = (N + \lambda)\omega I.$$

Cette tension remonte ensuite progressivement avec la constante de temps du rotor qui est très grande.

Donc, pour un même courant coupé et pour une même tension de *service*, les conditions d'essais sont très différentes, suivant la valeur de la chute inductive de l'alternateur qui aura servi à effectuer l'expérience, et suivant la réactance de réglage.

Si l'on s'en tient aux seules valeurs de la tension de service de l'appareil et du courant coupé, les résultats de l'essai n'auront aucune valeur par eux-mêmes, parce qu'ils ne pourront pas être comparés à ceux d'autres expériences réalisées dans des conditions différentes.

Une récente publication se rapportant à des essais effectués aux Etats-Unis, fournit un exemple caractéristique qui vaut d'être rappelé :

Un court-circuit triphasé établi sur un réseau fonctionnant à 141 000 V est coupé par trois interrupteurs monophasés ; chaque pôle ayant coupé :

$$2\,180 \text{ A}$$

on en a déduit que l'appareil a coupé :

$$2\,180 \times 141\,000 \times \sqrt{3} = 530\,000 \text{ kVA}$$

Pourtant, les oscillogrammes indiquent que la tension *entre phases*

Digitized by Google

après la coupure n'était que de 96 000 V, et il n'est nullement certain que le même groupe d'appareils aurait pu couper ces 2 180 A avec 141 000 V entre phases à l'ouverture des contacts.

Tout ce qui semble permis d'affirmer, c'est que chaque élément a coupé :

$$2\,180 \text{ A sous } 55\,000 \text{ V (environ)}$$

soit, si l'on tient à effectuer le produit de ces deux quantités :

$$121\,000 \text{ kVA.}$$

Par conséquent, si l'on veut caractériser d'une manière absolue le résultat de l'essai, il est indispensable de faire mention et du courant coupé, et de la tension mesurée aux bornes des contacts au moment de la coupure.

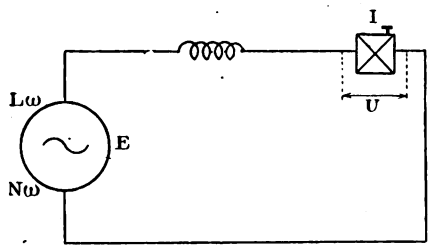


Fig. 4. — Schéma de circuit coupé.

Reste à savoir s'il est possible d'employer, comme unité de pouvoir de coupure, le produit de ces deux quantités.

3° Pour nous en rendre compte, supposons qu'un interrupteur soit installé sur un réseau alimenté par un alternateur de réactance totale $L\omega$, au delà d'une bobine de self inductance $\lambda\omega$ (*fig.* 4).

La force électromotrice de l'alternateur étant E, un court-circuit s'établit au delà de l'interrupteur.

Dès que la période transitoire est amortie, le courant de court-circuit est

$$I = \frac{E}{L\omega + \lambda\omega}$$

et, si l'on ouvre alors l'interrupteur, la tension qui apparaît aux bornes de celui-ci est

$$U = (N\omega + \lambda\omega)I$$

Digitized by Google

Le produit du courant par la tension sera :

$$P = \frac{N + \lambda}{L + \lambda} EI$$

Appelons k le rapport, toujours inférieur à l'unité, du courant de court-circuit permanent au courant de court-circuit instantané, on obtient finalement :

$$P = \frac{kL + \lambda}{(L + \lambda)^2 \omega} E$$

Pour $\lambda = 0$ (court-circuit aux bornes de l'alternateur)

$$P = k \frac{E^2}{L\omega}$$

Si λ augmente, c'est-à-dire si l'on diminue le courant de court-cir-

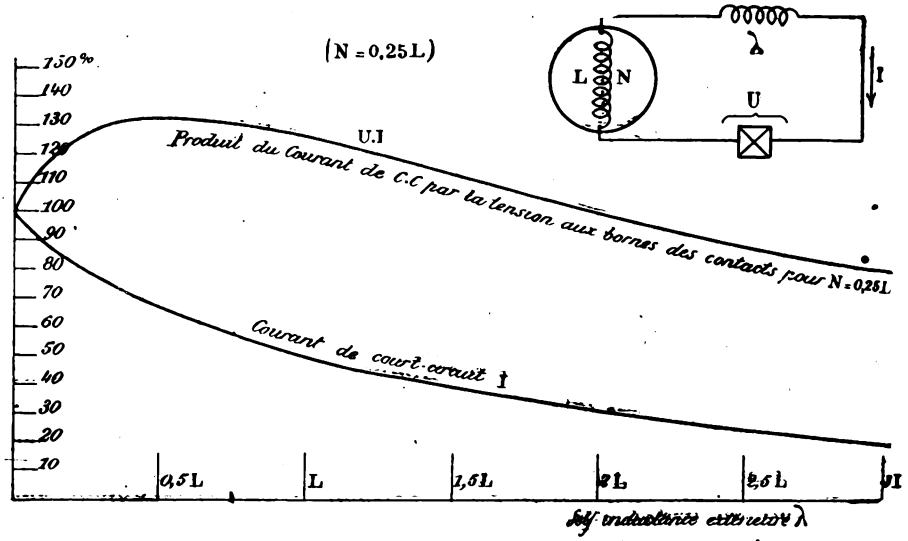


Fig. 5. — Puissance de coupure en fonction de la self-inductance du circuit.

cuit en intercalant une self, le produit P *commence par augmenter* et passe par un maximum pour :

$$\lambda = L(1 - 3k)$$

et diminue ensuite.

Calculons par exemple, ce que devient P en fonction de λ dans le cas où $k = 0{,}25$. Le graphique (*fig.* 5) montre que la puissance de coupure ainsi définie serait la même pour un court-circuit établi aux bornes de l'alternateur, ou au delà d'une réactance réduisant le

Digitized by Google

courant au 1/3 de sa valeur ; elle serait d'ailleurs maximum lorsque la réactance de protection réduirait le courant de court-circuit aux 2/3 de sa valeur.

Il n'est pas douteux qu'un pareil résultat soit en contradiction flagrante avec l'expérience quotidienne des réseaux : cette définition de la « puissance de coupure » — pourtant la seule rationnelle — est donc à rejeter.

Conclusion

Nous avons essayé de montrer :

a) que d'une manière générale la définition du pouvoir de coupure par le produit d'un courant et d'une tension est pour le moins insuffisante.

b) que le produit du courant coupé par la tension de service est, *à priori*, incapable de servir d'unité de capacité de coupure, et qu'on doit tout au moins lui substituer le produit de l'intensité coupée par la tension qui apparaît entre les contacts à l'instant de la coupure.

c) que l'application à un cas concret de la définition du pouvoir de rupture par ce dernier produit, conduit immédiatement à des résultats incompatibles avec l'expérience.

Nous en conclurons que la tenue d'un interrupteur ne peut pas être caractérisée par le produit — d'ailleurs sans signification physique — d'une tension par un courant ; et qu'il est indispensable d'énoncer ces deux grandeurs.

Il n'est d'ailleurs guère plus difficile d'annoncer qu'un interrupteur peut couper 10 000 A sous 8 650 V par pôle, que de dire qu'il peut couper 260 000 kVA sous 15 000 V.

Le premier énoncé est correct, précis, susceptible d'être contrôlé ; le second est incorrect, inutile et capable d'induire en erreur.

M. Charpentier. — Je ferai observer à M. Fallou que le pouvoir de coupure d'un interrupteur à huile est bien défini, comme il le souhaite, par l'intensité qu'il peut couper sous une tension donnée.

M. Saint Germain. — Je voudrais attirer l'attention sur un point important. Jusqu'à présent, on a envisagé le pouvoir de coupure en

Digitized by Google

ne considérant que l'intensité du courant coupé et la tension aux bornes de l'interrupteur après la coupure, et en supposant que le coefficient de self induction du circuit coupé était nul.

Il faut faire intervenir, dorénavant, dans la définition du pouvoir de coupure d'un interrupteur, le coefficient de self induction du court-

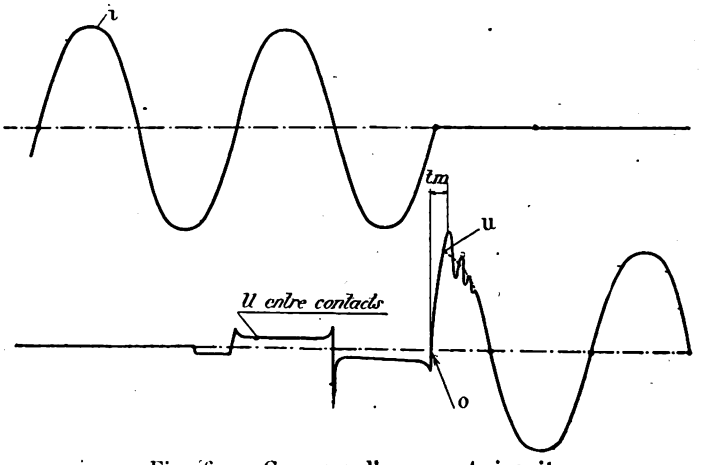


Fig. 6. — Coupure d'un court-circuit.

circuit. Il y a, en effet, une différence considérable entre la longueur d'un arc sur un court-circuit, suivant que le cos φ est voisin de 0 ou de 0,3. Or, cette dernière valeur se rencontre en certains points sur de grands réseaux. Cette question doit donc être étudiée sérieusement.

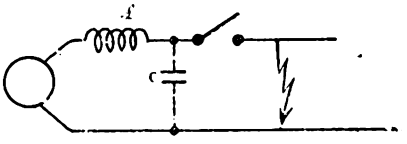


Fig. 6 bis. — Schéma de coupure.

M. A. Roth. — En dehors des trois points habituellement mentionnés comme facteurs déterminants du pouvoir de coupure nécessaire, intensité, tension et cos φ, il en existe un quatrième auquel on n'a peut-être pas accordé, jusqu'ici, assez d'attention. Il s'agit de *la période propre du réseau*. Ce facteur intervient dans le cas d'un petit cos φ, c'est-à-dire, dans la plupart des cas pratiques.

Digitized by Google

C'est la période propre du réseau qui détermine la vitesse d'accroissement de la tension au moment où le courant passe par zéro (région t_m (*fig.* 6).

Plus est grande la période propre, plus est lent l'accroissement de la tension et plus sont favorables les conditions d'extinction de l'arc. Or la période propre du circuit, qui entre en considération pour le rétablissement de la tension au point O, se détermine par les constantes C et L (*fig.* 7), c'est-à-dire, d'une part par la capacité des machines et de la partie du réseau que ne coupe pas l'interrupteur, d'autre part par l'inductance des machines et des parties du réseau parcourues par le courant de court-circuit.

De plus, l'oscillation peut dépasser le point U du régime permanent, ce qui rend plus difficile la rupture définitive. La hauteur de cette oscillation dépend de l'amortissement naturel du circuit, c'est-à-dire de la construction de la génératrice (enroulements, amortisseurs, construction des pôles, etc...)

J'ai eu l'occasion d'assister à des essais qui montrèrent une différence très nette entre le cas où un réseau de câbles était branché du côté génératrice et le cas contraire. La diminution de la longueur d'arc, dans le premier cas, était si je me souviens bien : de 20 à 30 pour cent.

En ce qui concerne le *nombre de coupures*, je me range à l'avis de M. KLONINGER qui croit possible de couper de très fortes intensités, plusieurs fois, avec le même interrupteur et sans révision. Je me rends très bien compte des difficultés que provoque l'effet, sur les contacts, d'intensité dépassant 20 000 A, mais je crois pourtant qu'il est possible d'arriver, même avec les plus fortes intensités, aux chiffres de 3 ruptures et 2 réenclenchements, dans le cas le plus défavorable.

Je ne suis pas d'accord avec M. KLONINGER en ce qui concerne sa remarque sur *les contacts glissants*. D'après les essais que nous avons eu l'occasion de faire avec de très fortes intensités, les difficultés thermiques que l'on rencontre à l'enclenchement et au déclenchement de très fortes intensités de court-circuits sont dues surtout à des phénomènes de répulsion dynamique.

A condition d'éviter cette répulsion, (ce qui, par certains moyens spéciaux, est parfaitement possible), on arrive, également, avec

Digitized by Google

des contacts glissants, à des résultats très satisfaisants. Nos essais ont été faits avec des intensités s'élevant jusqu'à 60 000 A.

M. KOPELIOVITCH. — La discussion a soulevé différents problèmes d'importance fondamentale pour le constructeur d'interrupteurs à bain d'huile. En Suisse, la question des interrupteurs a fait l'objet de nombreuses recherches, dont celles de l'A. S. E. (voir B. BAUER, *Bulletin*, A. S. E. 1915, 1916), sont sans doute les plus approfondies. C'est à cette étude que nous devons la notion du travail de rupture A et la formule :

$$A = cIEt_0 = cPt_0 \text{ en kW}$$

où P désigne la puissance coupée en kVA,
t_0 la durée de l'arc en secondes et c une constante.

Il y a donc onze ans que l'importance de l'énergie dégagée par l'arc, lors d'une coupure, a été reconnue, et que la condition du travail de rupture admissible pour un interrupteur donné a été formulée. Les recherches de B. BAUER ont été faites avec des puissances relativement faibles ; la Société Brown, Boveri et C° a fait, depuis, des essais méthodiques avec des puissances atteignant jusqu'à 725 000 kVA (1). Malgré le travail considérable que ces études ont déjà exigé, je ne crois pas que nous connaissions tous les phénomènes complexes qui se produisent au moment de la rupture. Il nous a été cependant possible d'établir et de vérifier expérimentalement des formules servant au calcul des interrupteurs, de sorte que la construction de ces appareils commence à sortir de l'empirisme. Nos calculs sont, en premier lieu, basés sur la théorie du « marteau d'huile » (2), qui se produit à la coupure de fortes puissances de court-circuit et sur l'énergie dégagée par l'arc. Il va de soi que la distance de coupure doit être dimensionnée suivant la tension et le courant de coupure. Les formules employées contiennent des constantes empiriques dont la détermination a fait l'objet des dernières recherches de la Société Brown, Boveri et C^ie^.

Dans la publication mentionnée de BAUER, l'expression donnant le travail de rupture contient une constante c, dont la valeur est indiquée

(1) Voir P. Sporn et H. P. St. Clair : High Voltage Circuit Breaker Test, El. World, Vol. 85, n° 19, p. 970.

(2) Voir Brühlmann, Bulletin A. S. E. 1925, n° 2, p. 81 et suivantes, n° 6, p. 358 et suivantes.

Digitized by Google

comme étant égale à 0,07 ou 0,10. Nos essais ont montré que la grandeur de cette constante dépend en réalité de différents facteurs et, surtout, de la pression dans l'interrupteur. La valeur de l'énergie dégagée par l'arc lors d'une rupture, calculée par la formule indiquée plus haut, n'est donc qu'approximative.

L'expression :

$$A = cE_0It_0$$

pourrait s'écrire :

$$A = e_mIt_0$$

si par $e_m = cE_0$, l'on désigne la tension moyenne de l'arc.

Voyons si cette substitution est admissible. En supposant le cou-

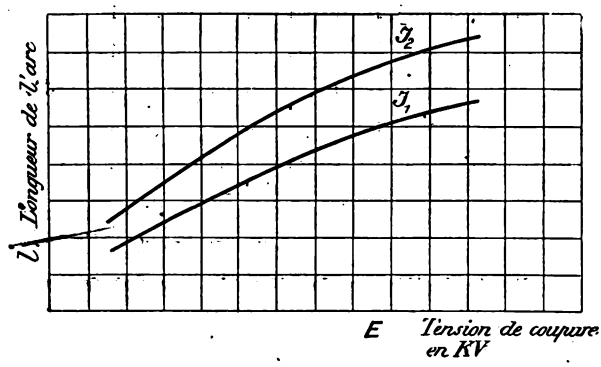


Fig. 7. — Longueur de l'arc en fonction de la tension de coupure.

rant I invariable et en écrivant que la tension e_m est proportionnelle à la longueur de l'arc, comme cela résulte des recherches de différents auteurs (3), on arrive à la conclusion que la longueur de l'arc dans un interrupteur est proportionnelle à la tension de coupure. Or, les essais prouvent que ce n'est pas le cas. La relation entre la longueur d'arc l et la tension de coupure se présente sous la forme d'une fonction dont la représentation graphique est donnée par la fig. 7.

A côté de l'influence de la tension, il y a lieu de tenir compte de l'effet de l'intensité du courant de rupture : la courbe donnant la durée de l'arc en fonction du courant de rupture (fig. 8), publiée par J. D. Hilliard (4), montre que la relation entre ces deux facteurs est

(3) Voir A. Hagenbach : Der elektr. Lichtbogen, Akademische Verlags gesellschaft, Leipzig 1924, p. 119, 126.
(4) J. D. Hilliard, G. E. R. Dec. 1924, p. 822 et suivantes.

Digitized by Google

encore plus compliquée. Il ne faut cependant pas vouloir tirer des conclusions générales de la forme de cette courbe, car la construction de l'interrupteur peut fortement influencer le phénomène. On peut toutefois s'attendre à ce que, pour une tension donnée, le travail de rupture diminue avec l'augmentation du courant au delà d'une certaine valeur et ceci parce que la durée t_0, d'une part, et la tension de l'arc e_m d'autre part, diminuent lorsque le courant augmente.

Au sujet de l'effet de la pression statique, des essais faits avec une puissance de rupture de 1 500 V, 620 A et des pressions allant jusqu'à

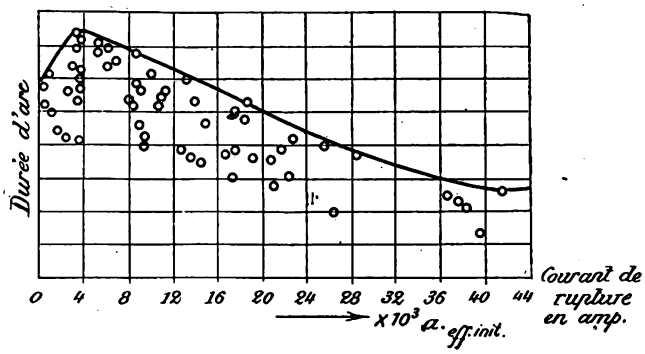


Fig. 8. — Durée de l'arc en fonction du courant de rupture.

50 kg/cm² ont montré qu'un allongement de l'arc, et une augmentation considérable de la production des gaz sont les conséquences de l'augmentation de pression (5). Sans vouloir entrer dans les détails et rechercher les causes physiques de ces différents phénomènes (6), j'aimerais attirer l'attention sur la formule donnant le travail de rupture que M. CHARPENTIER indique à la page 1009 du *Bulletin* S. F. E. et qui s'écrit :

$$A = \frac{k}{100} EI = \frac{k}{100} P$$

L'auteur fait remarquer que le facteur k n'est pas une constante, mais que, à son avis, on pourrait toujours délimiter des intervalles de P = EI où il le serait. Cette question a été traitée par BAUER et je me permets de reproduire ici ses courbes donnant le pouvoir de coupure d'un interrupteur en fonction de la tension (fig. 9), chaque

(5) Comp. Bruhlmann, Bulletin A. S. E., n° 2, 1925, p. 94.
(6) S. D. Norberg, The properties of the electric arc with respect to the arcing of circuit breakers, Stockholm 1925, p. 12.

Digitized by Google

courbe correspondant à un travail de rupture donné. On voit qu'en partant d'un travail admissible, on peut indiquer pour un interrupteur donné des pouvoirs de coupure bien supérieurs à une tension relativement basse qu'à une tension élevée. Les recherches de Brown Boveri, ont montré que ces conclusions sont en principe valables aussi pour la rupture des courts-circuits de forte puissance. La formule proposée par M. Charpentier ne tient pas compte de ce fait. A mon avis, il est, en général, oiseux de chercher des formules trop simples pour l'interprétation des phénomènes complexes, si l'on veut rester dans le domaine de la réalité. Et d'ailleurs, le paramètre k dépendra

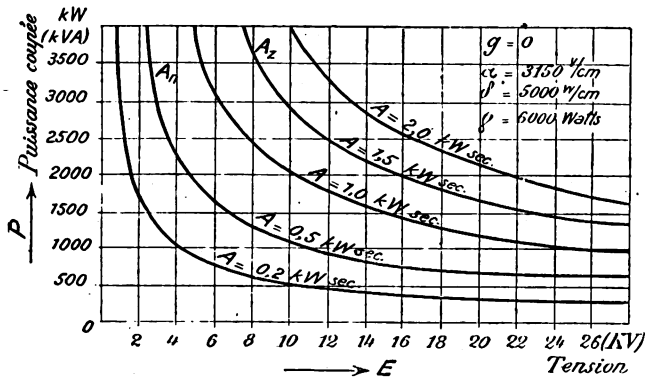


Fig. 9. — Pouvoir de coupure d'un interrupteur en fonction de la tension.

essentiellement de la construction de l'interrupteur et ne pourra, en aucun cas, être déterminé seulement par la puissance P = EI, ou par les deux facteurs E et I séparément.

Si dans les règlements allemands, suisses et américains, on définit le pouvoir de rupture des interrupteurs en kVA, c'est-à-dire par le produit de la tension et du courant de rupture, c'est qu'il est pratiquement impossible d'introduire dans les règlements, la notion du travail de rupture dont l'importance est cependant bien connue dans ces pays.

Par la discussion qui a suivi le rapport de M. Charpentier, on voit que le rôle important que joue le travail de rupture dans le dimensionnement des disjoncteurs, est généralement reconnu. Par contre, l'influence du système des courants sur la tension de rupture, c'est-à-dire la tension qui provoque le rallumage de l'arc, paraît être moins connue. Je reproduis ici le tableau publié dans le n° 2, 1925 du *Bulletin* A. S. E., page 77. Cette publication contient des explications plus amples à ce sujet.

Digitized by Google

Tableau comparatif de la contrainte d'un pôle d'interrupteur, au moment de courts-circuits biphasés et monophasés d'un réseau triphasé et de la contrainte produite par un court-circuit triphasé dans le même réseau.

		Court-circuit dans le réseau (à travers des lignes et des transformateurs)	Court-circuit à proximité de l'alternateur	
	Genre de court-circuit	court-circuit initial et permanent égaux	initial	permanent
		A	B	C
Courant de rupture (*)	triphasé	1	1	1
	biphasé	$\frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}87$	appr. 1	appr. 1,15-1 5
	monophasé	1	» 1,15	» 1.5-2
Tension de rallumage.	triphasé	1	1	1
	biphasé	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0\ 58$	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}58$	appr. 0,65-0,85
	monophasé	$\frac{1}{1{,}5} = 0{,}67$	$\frac{1}{1.5} = 0{,}67$	» 0,85-1,15
Puissance de coupure qui produit la contrainte d'un pôle	triphasé	1	1	1
	biphasé	0,5	0,58	appr. 0,75 1,25
	monophasé	0,67	appr. 0,77	» 1,25-2,3

(*) Les valeurs des courants se rapportent à la composante alternative seulement.

Je fais remarquer en passant que le fait relevé par M. Fallou, dans son rapport sur le « Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés », à savoir que le courant de court-circuit monophasé, est sensiblement plus élevé que celui d'un court-circuit triphasé, apparaît également dans ce tableau, qui est cependant calculé par des méthodes usuelles.

Pour un interrupteur triphasé dans une seule cuve, les valeurs représentatives de la puissance, dont résulte la contrainte sont respectivement :

Digitized by Google

	A	B	C
Court-circuit triphasé	3	3	3
» » biphasé	1	1,16	1,5 + 2,5
» » monophasé	0,67	0,77	1,25 + 2,3

En faisant quelques hypothèses pour simplifier les raisonnements, on peut facilement écrire les valeurs représentatives du travail de rupture correspondant aux différents cas. Je suppose que la durée de l'arc est proportionnelle à la tension de rallumage, ce qui est à peu près vrai dans certaines limites de tension, et je néglige l'influence de la grandeur du courant. Le travail de rupture est alors donné, à un facteur près, par le produit de la puissance déterminant la contrainte de l'interrupteur par la constante représentative de la tension de rallumage. On obtient de cette façon les chiffres ci-dessous :

Valeurs comparatives du travail de rupture d'un pôle d'interrupteur.

	A	B	C
Court-circuit triphasé	1	1	1
» » biphasé	0,29	0,34	0,49 + 1,06
» » monophasé	0,45	0,52	1,06 + 2,65

Valeurs comparatives du travail de rupture d'un interrupteur triphasé à une cuve.

	A	B	C
Court-circuit triphasé	3	3	3
» » biphasé	0,58	0,68	0,98 + 2,12
» » monophasé	0,45	0,52	1,06 + 2,65

Ces valeurs, qui ne sont qu'approximatives, montrent que c'est généralement dans le cas d'un court-circuit triphasé, que la contrainte de l'interrupteur sera la plus forte, exception faite du cas de court-circuit monophasé à proximité de l'alternateur, coupé par un interrupteur à trois cuves.

Une remarque encore au sujet de la tension de rallumage des grands réseaux. Lors des essais de courts-circuits faits en Amérique (7) dans un réseau très puissant, on a trouvé que cette tension était sen-

(7) Comp. El. World, May 9, 1925, Vol. 85, N° 19. p. 970.

Digitized by Google

siblement inférieure à la tension de service. La différence était d'autant plus grande que la distance du point de court-circuit aux centrales principales était plus faible.

Un autre côté très important de la question des interrupteurs consiste dans le problème d'enclenchement sur court-circuit quand le courant initial maximum dépasse 15 à 20 000 A. Des forces électrodynamiques considérables sont alors mises en jeu. Les différentes parties du disjoncteur doivent être dimensionnées en conséquence. L'effet de ces forces se manifeste, en outre, par une action opposée au mouvement d'enclenchement de la traverse, d'une part, et par la répulsion mutuelle des contacts au moment d'amorçage d'arc entre ces derniers, d'autre part (8). On conçoit facilement quelles conséquences néfastes peuvent avoir ces actions. En effet, si, à l'enclenchement, le couple moteur commandant le disjoncteur est insuffisant, de sorte que la traverse se trouve arrêtée dans une position intermédiaire juste au moment où l'arc s'est amorcé, une destruction, voir même une explosion du disjoncteur par l'énergie dégagée par l'arc qui continue à brûler, est inévitable. Mais même si le moteur de commande est suffisamment puissant pour empêcher l'arrêt de la traverse, les forces de répulsion agissant sur les contacts d'extinction peuvent provoquer leur séparation. L'arc d'enclenchement ne s'éteint alors que lorsque les contacts principaux sont entièrement enclenchés, et encore, seulement, si ces derniers sont de construction appropriée. La fermeture des contacts d'extinction, et dans certains cas des contacts principaux, se fait au moment où leur surface est recouverte de métal fondu. La soudure autogène des contacts sera la fréquente conséquence de ce phénomène. Or, une fois les contacts soudés, l'interrupteur ne peut plus déclencher, ou bien pis encore, ne peut déclencher que partiellement, de sorte que l'arc de déclenchement ne s'éteint plus, d'où la destruction du disjoncteur.

Comme on voit, l'effet des arcs d'enclenchement limite le pouvoir d'un interrupteur à cause des conséquences qui ne diffèrent point de celles qui résultent d'un déclenchement avec un interrupteur trop faible.

Pour éliminer ce grave inconvénient, la Société Brown, Boveri emploie des contacts d'extinction à solénoïdes qui, au moment de l'enclenchement, produisent des forces d'attraction et équilibrent la

(8) Comp. Brühlmann, Bull. A. S. E., N° 2, 1925, p. 96 et suivantes.

Digitized by Google

répulsion décrite ci-dessus. Les contacts sont dimensionnés de façon que leur séparation et, par suite, l'arc d'enclenchement ne se produise pour ainsi dire pas du tout. Grâce à cet artifice, il a été possible de construire des interrupteurs pouvant sans difficulté enclencher

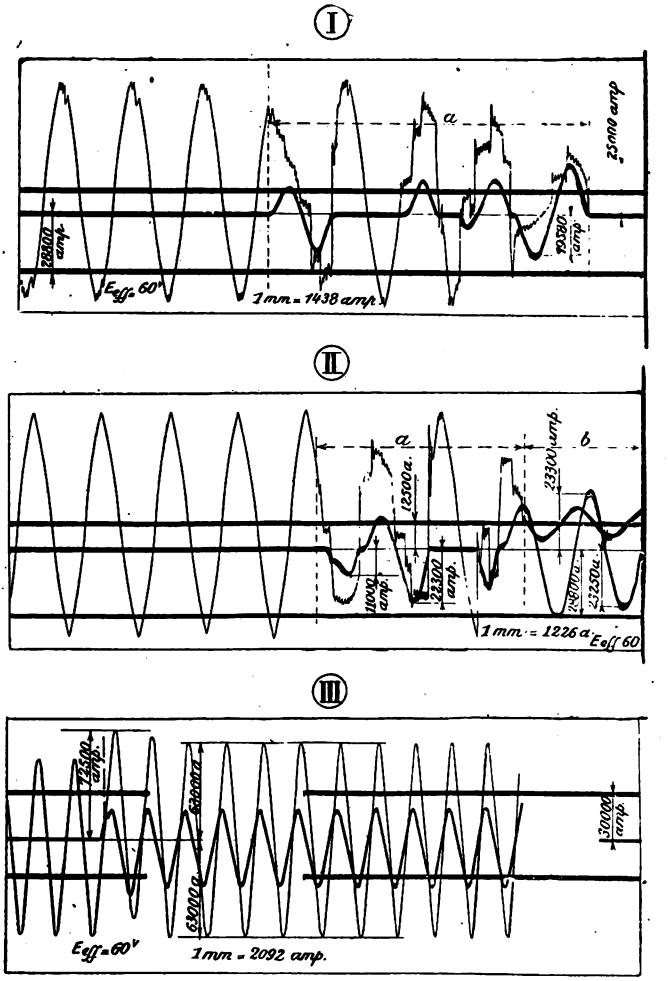


Fig. 10. — Oscillogrammes d'enclenchements.

sur 80 000 A maxima. Des contacts à solénoïdes ont pu déjà être exécutés pour des intensités de 160 000 A maxima.

Pour illustrer le phénomène de répulsion et de séparation des contacts habituels (contacts à plots, à couteaux, etc...), je reproduis les oscillogrammes ci-contre relevés à la plate-forme de la Société Brown, Boveri (fig. 10).

Digitized by Google

L'oscillogramme 1 montre un enclenchement sur 25 000 A maxima et 60 V eff. avec contacts usuels : le courant ne peut s'établir que pendant une période en formant un arc (voir la courbe irisée caractéristique de la tension). Les contacts étant repoussés et la tension étant trop faible pour maintenir l'arc, celui-ci s'éteint pour se rallumer un instant après. Le phénomène se reproduit jusqu'à ce que le primaire du transformateur soit déclenché.

Sur l'oscillogramme 2, on voit le même essai avec une intensité de 28 800 A maxima. Après une première période, désignée par *a*, pendant laquelle les contacts sont repoussés et l'arc brûle, on en voit une seconde, désignée par *b*, pendant laquelle la tension et le courant ont une allure bien régulière et l'arc n'existe plus : les contacts sont soudés et ne peuvent plus être séparés.

L'oscillogramme 3 représente un enclenchement sur 72 500 A maxima avec des contacts à solénoïdes : il n'y a pas trace d'arc d'allumage, les deux courbes étant, dès le début, parfaitement régulières. Le progrès que constitue ce perfectionnement est bien mis en évidence par ce dernier oscillogramme.

M. LE PRÉSIDENT. — La conclusion que je crois devoir tirer de cette discussion, c'est qu'il y a un grand nombre d'ingénieurs de valeur, tout prêts à profiter des expériences projetées par l'Union des Syndicats. Il est donc important de commencer celles-ci, qui donneront certainement des résultats intéressants.

M. FALLOU présente son rapport sur *le calcul du courant de court-circuit dans les réseaux triphasés* (1).

M. GENKIN. — Il faut savoir gré à M. FALLOU, d'avoir bien voulu exposer devant nous l'application de la méthode des coordonnées symétriques au calcul des régimes troublés dans un réseau de distribution.

A cette occasion, il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer que la méthode des coordonnées symétriques, qu'on envisage souvent d'un point de vue un peu étroit, en la considérant comme un artifice de calcul, est en réalité, depuis la théorie du champ tournant de

(1) *Bulletin de la Société Française des Électriciens*, Tome VI, 4e Série, Septembre 1926, n° 61, p. 969.

Digitized by Google

M. BLONDEL, le procédé le plus puissant et le plus général qui ait été trouvé dans le domaine théorique de l'électricité industrielle.

De même que la théorie du champ tournant permet de ramener un problème comportant n circuits d'un système polyphasé équilibré au problème monophasé, de même, grâce à la méthode des coordonnées symétriques, il devient possible de traiter toute question relative au déséquilibre électrique, par les procédés classiques applicables aux systèmes polyphasés équilibrés.

Parmi les très nombreux problèmes qui se laissent ainsi traiter avec commodité, l'étude des régimes troublés résultant d'un défaut, est d'un intérêt particulier pour l'exploitant d'un réseau de distribution.

La tendance à considérer le déséquilibre électrique comme un symptôme de défaut s'est fait jour, tout d'abord, aux Etats-Unis et elle commence, je crois, à pénétrer en France. Cette idée permet d'imaginer des systèmes de protection sélectifs, sensibles à l'une des composantes symétriques, propres à l'état de déséquilibre entraîné par le défaut.

Il en résulte que les relais de protection ne sont influencés que par le courant de défaut, à l'exclusion de tout courant utile. Par exemple, dans la protection Ferranti on fait agir sur les relais le terme d'ordre zéro, dit monophasé. Ce dernier terme n'apparaît, bien entendu, que dans le cas d'une terre, de telle sorte que l'action de cette protection se trouve forcément limitée à ce genre de défauts. Il n'en est pas de même, si on choisit le terme symétrique inverse à la place du terme monophasé. On aboutit, alors, à un système de protection analogue, mais plus efficace dans ce sens qu'il devient sensible, non seulement aux terres, mais aussi aux défauts entre phases.

Les systèmes de protection basés sur ce principe ont été réalisés aux Etats-Unis. Dans ces dispositifs, on interpose, entre les relais et les transformateurs de mesure, des réseaux filtrants composés d'un certain nombre d'impédances et destinés à sélectionner l'une ou l'autre composante symétrique des tensions ou des courants.

Je crois savoir qu'en France, la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs, poursuivant la même idée, vient de réaliser un relais sélectif sensible au déséquilibre électrique, mais ne comportant pas de réseau filtrant. Il serait très intéressant de connaître les résultats obtenus dans cette voie.

Je termine en souhaitant que des personnes plus compétentes que moi, veuillent bien nous communiquer quelques renseignements sur cette question.

Digitized by Google

M. Iliovici. — Nous avons en effet réalisé, à la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs, des relais et des appareils basés sur le déséquilibrage des circuits. Certains de ces appareils permettent de mesurer l'une des composantes symétriques et, en particulier, la composante inverse ou la composante asymétrique (ou monophasée) des courants ou des tensions, ou la mesure du degré de déséquilibrage; mais nous avons surtout étudié un relais d'impédance qui utilise les composantes symétriques et qui donne des résultats très intéressants.

Je ne puis encore parler de ce dernier appareil dont l'étude n'est pas encore complètement terminée; mais je peux dire que l'emploi des coordonnées symétriques permet une grande simplification, parce qu'il permet de remplacer trois relais par un seul, d'une réalisation plus commode que chacune des autres et, en même temps, plus sensible et plus sélectif.

Pour répondre directement à la question posée par M. Genkin, je dirai qu'effectivement dans nos appareils, nous n'employons pas les réseaux filtrants. Quel que soit leur intérêt, ils ont à notre avis deux défauts : leur réglage est délicat, et ils introduisent une consommation supplémentaire non négligeable. Le réglage d'un circuit filtrant demande l'ajustage, à des valeurs déterminées, d'une résistance et d'une réactance. L'opération, facile dans un laboratoire, l'est beaucoup moins en fabrication régulière; de plus, pour ne pas arriver à des dimensions exagérées, on est amené à employer des bobines avec fer et il faut tenir compte de sa saturation.

C'est pourquoi, sans vouloir affirmer que l'emploi des systèmes filtrants ne puisse rendre de services dans beaucoup de cas, nous les avons évités dans les appareils que nous avons réalisés.

Voici un des dispositifs que nous avons adoptés.

Dans un appareil d'induction il est facile d'obtenir un couple proportionnel à $(A_d^2 + A_i^2)$, A_d étant la composante directe et A_i la composante inverse d'un courant ou d'une tension. Il suffit pour cela de faire agir sur l'équipage mobile — habituellement un disque en cuivre ou en aluminium — trois électro-aimants identiques donnant des couples proportionnels aux carrés de leurs ampère-tours, et de faire passer dans leurs enroulements, soit les trois courants du circuit à protéger, soit des courants proportionnels aux trois tensions. Si A_1, A_2 et A_3 sont les valeurs efficaces des courants ou des tensions, le couple total fourni par les trois électro-aimants sera proportionnel à $(A_1^2 + A_2^2 + A_3^2)$. Or, on démontre qu'on a la relation :

Digitized by Google

$$A_1^2 + A_2^2 + A^2 = 3(A_d + A_i^2).$$

en supposant que la composante asymétrique A_0 soit nulle, pour ne considérer que ce cas plus simple. On obtient ainsi un couple de la forme :

$$C_1 = k_1(A_d + A_i^2). \qquad (1)$$

On peut obtenir facilement un deuxième couple de la forme :

$$C_2 = k_2(A_d - A_i^2). \qquad (2)$$

Pour cela, il suffit de faire agir sur le disque un électro-aimant analogue à celui d'un compteur ou d'un wattmètre d'induction, et de faire passer dans les deux enroulements deux des courants du circuit, ou des courants proportionnels à deux des tensions et déphasés par rapport à ces tensions d'angles égaux.

On sait que le couple ainsi obtenu est de la forme :

$$C_2 = k' A_1 A_2 \sin \alpha. \qquad (3)$$

On a :

$$A_1 A_2 \sin \alpha = k''(A_d^2 - A_i^2). \qquad (4)$$

Si on fait, en effet, la construction classique, on obtient

$$\overline{CD} = \sqrt{3}\, A_i \qquad \text{et} \qquad \overline{CE} = \sqrt{3}\, A_d.$$

On a, dans les triangles CAD et CAE les relations :

$$\overline{CD}^2 = \overline{CA}^2 + \overline{AD}^2 - 2\overline{CA}\cdot\overline{AD}\cos(60^\circ - \alpha)$$

et

$$\overline{CE}^2 = \overline{CA}^2 + \overline{AE}^2 - 2\overline{CA}\cdot\overline{AE}\cos(60^\circ + \alpha).$$

On en déduit

$$\overline{CE}^2 - \overline{CD}^2 = 4\overline{CA}\cdot\overline{AD}\,[\cos(60^\circ - \alpha) - \cos(60^\circ + \alpha)],$$

car

$$\overline{AD} = \overline{AE};$$

ou

$$\overline{CE}^2 - \overline{CD}^2 = 4\overline{CA}\cdot\overline{AD}\sqrt{3}\sin\alpha.$$

Or

$$\overline{CA} = A_2, \qquad \overline{AD} = A_1.$$

On a donc, après remplacement dans la relation précédente et simplification :

$$A_d^2 - A_i^2 = \frac{4}{\sqrt{3}} A_1 A_2 \sin\alpha,$$

ce qui démontre la relation (4). Si on prend pour k' une valeur appropriée, la relation (3) devient, en tenant compte de (4), la relation (2).

Si on fait agir sur un même disque ou sur deux disques solidaires, les couples C_1 et C_2, le couple résultant C sera la somme algébrique

$$C = C_1 + C_2 \qquad (5)$$

des deux couples composants.

Digitized by Google

En choisissant convenablement les constantes k_1 et k_2, on obtient des résultats intéressants.

Ainsi, si on s'arrange de façon à avoir $k_1 = k_2 = k$, le couple sera : $C = 2kA_d$ et ne dépendra que de la composante directe ; si on fait $k_1 = -k_2 = k$ on aura : $C = 2kA_i^2$; le couple ne dépendra que de la composante inverse.

On peut faire que les constantes k_1 et k_2 soient fonctions de l'angle de rotation δ du disque. Si l'équipage n'est soumis à aucun autre couple, l'équilibre aura lieu pour $C_1 = C_2$ ou

$$k_1(A_d^2 + A_i^2) = k_2(A_d^2 - A_i^2)$$

d'où on tire

$$\frac{A_d^2 - A_i^2}{A_d^2 + A_i^2} = \frac{k_1}{k_2} = f(\delta).$$

En posant $\frac{A_i}{A_d} = \varepsilon$, ε sera *le degré de déséquilibrage* du système de courants ou de tensions, et on a : $\frac{1 - \varepsilon^2}{1 + \varepsilon^2} = f(\delta)$. Il en résulte que la déviation de l'équipage mobile ne dépend que du degré de déséquilibrage, et que l'appareil mesurera cette grandeur.

On arrive à simplifier les montages, dans certains cas, en transformant les tensions ou courants triphasés, en ampère-tours diphasés. On arrive ainsi par exemple, pour obtenir le couple C_1, à n'employer que deux électro-aimants au lieu de trois.

Les dispositifs indiqués ci-dessus sont donnés à titre d'exemples. En fait, on en emploie d'autres, basés sur des principes analogues. Ainsi, dans le relais d'impédance basé sur les composantes symétriques dont je parlais plus haut, on emploie aussi la composante inverse d'une puissance et la composante asymétrique des tensions.

Je trouve très intéressant le rapport de M. Fallou, qui indique des résultats pratiques obtenus très simplement par la considération des coordonnées symétriques. Cette méthode est sûrement appelée à un grand avenir ; entre autres, elle permet une étude plus approfondie des machines polyphasées, lorsque les tensions qui les alimentent ne sont pas équilibrées ou lorsque la machine elle-même n'est pas complètement équilibrée, ce qui est souvent le cas.

La méthode des coordonnées symétriques est de beaucoup plus générale que celle des champs tournants, qui se trouve à son origine, et je suis convaincu qu'on trouvera dans son application des résultats nouveaux et très intéressants, si on arrive à se soustraire à l'influence de la théorie des champs tournants.

Digitized by Google

M. KOPELIOVITCH. — Tout en reconnaissant la simplicité et les avantages que présente la méthode des coordonnées symétriques pour le calcul du courant de court-circuit dans les réseaux triphasés, je suis d'avis que, pour la détermination de la puissance de rupture des interrupteurs, la précision du calcul simplifié indiqué dans les règles suisses pour le choix des interrupteurs (1) suffit amplement. On y admet que les vecteurs représentatifs des impédances des lignes sont également dirigés et on les additionne algébriquement d'après les règles habituelles. Si une partie de la ligne est mise sous câble, on introduit ce dernier comme une résistance faisant un certain angle avec l'impédance calculée pour le reste de la ligne aérienne. La méthode est simple et rapide. Les erreurs que l'on peut faire en procédant de cette façon peuvent, dans des cas défavorables, atteindre 10 à 20 pour cent. Or, si l'on pense que dans la construction des interrupteurs on est actuellement obligé d'employer des coefficients de sureté atteignant 200 pour cent, on voit qu'une plus grande exactitude dans le calcul de la puissance de court-circuit est illusoire. D'ailleurs, une des difficultés pour la détermination du courant de court-circuit monophasé (arc à la terre, dans un système avec neutre à la terre) consiste dans l'introduction dans le calcul, des constantes caractéristiques donnant l'impédance de la ligne quand le retour se fait par la terre.

M. le Président GRATZMULLER. — Il y a toujours plusieurs façons de résoudre un problème. Il faut remarquer que M. STOKVIS a le premier insisté sur la notion de déséquilibrage et a donné les premières théories, puis enfin il y a le fameux rapport de FORTESCUE et MM. DARRIEUS et GENKIN sont entrés énergiquement dans cette voie, en développant en France ces points de vue avec des conceptions originales. Maintenant M. FALLOU poursuit la question, il vient de nous montrer des points de vue un peu nouveaux, des procédés de calcul, dans certains cas, très simples et ce qui fait l'intérêt du travail présenté, c'est qu'à côté des conceptions théoriques, M. FALLOU est un expérimentateur très habile et très consciencieux, ainsi que j'ai eu l'occasion de le constater. Maintenant, M. ILIOVICI avec son ardeur va tirer des conséquences de ces théories.

M. GIROZ, présente son rapport sur *la transformation statique du courant continu en courant alternatif* (2).

(1) Voir *Bulletin A. S. E.* avril 1924.

(2) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, Tome VI, 4e série, n° 61, Septembre 1926, p. 1014.

Digitized by Google

M. GRATZMULLER. — Vous me permettrez de rendre hommage à Maurice LEBLANC qui, à la fin de sa vie, alors qu'il était déjà touché du mal qui devait l'emporter, et après tous ses travaux bien connus sur les courants alternatifs, arrivé à un âge où l'on aspire généralement au repos. a vu l'importance du transport de force en courant continu à haute tension. Il s'est inquiété de la nécessité de transformer la tension continue en tension alternative.

Il a non seulement posé le problème, mais donné une première solution et ouvert une voie nouvelle dans laquelle entrent de jeunes ingénieurs de talent que vous venez d'entendre et qui font progresser la question.

Les étrangers également travaillent la question, surtout aux Etats Unis, croyons-nous.

M. TOULY. — L'intéressant rapport de M. GIROZ rappelle le montage proposé par MAURICE LEBLANC ainsi que les craintes que ce dernier énonçait au sujet de la grille intérieure : possibilité d'amorcer un arc avec la grille comme cathode.

Trop tôt ravi à la science et à ses admirateurs, M. Maurice LEBLANC ne put voir la première réalisation de son montage. C'est pourquoi je me permets de livrer ici les résultats des travaux continués par la suite sous l'impulsion première de notre regretté maître.

Les premiers essais effectués montrèrent l'impossibilité de faire fonctionner le système à des fréquences élevées, de l'ordre de 7 000 p : s et plus. De plus, le montage était instable. Le système ne s'amorçait que pour une valeur bien déterminée de la self tampon.

Nous n'entrerons pas ici dans la discussion des questions de stabilité du montage envisagé, mais nous désirons simplement indiquer les raisons qui nous ont obligés à abandonner ce montage. Contrairement à ce que craignait M. LEBLANC, il n'y eut jamais d'amorçage en retour sur la grille.

La lampe que nous utilisions alors n'avait pas de chambre de condensation, c'est-à-dire que la température et la pression y étaient élevées et que les chances d'allumage en retour étaient importantes. La tension continue entre grille et cathode atteignait 1 500 et même 2 000 V ; malgré ces conditions défavorables, nous n'avons jamais eu d'incident. La seule précaution à prendre était de mettre dans le circuit de grille une résistance de l'ordre de 10 0000 ohms.

Or, le montage de LEBLANC nécessitait, par son principe même, ces

Digitized by Google

hautes tensions de grille, alors que le montage de M. Giroz ne les nécessite pas. De plus, dans une lampe dont la température était de 20 à 30°C, avec chambre de condensation, il était possible d'empêcher l'amorçage d'un arc sous une tension continue d'anode de 2 000 V avec une tension négative sur la grille de — 40 V.

De ces deux expériences, il est raisonnable de déduire qu'en portant la grille à des tensions négatives de l'ordre du millier de volts, on puisse empêcher l'amorçage d'arc sous des tensions d'anode de l'ordre de 10 à 20 000 V, ce qui est beaucoup plus qu'il n'en faut pour l'application visée par M. Giroz.

Comme je l'ai dit plus haut, il nous fut impossible d'augmenter la fréquence du système et de l'amener dans les régions où elle aurait été intéressante. Il semblait que l'effet de grille s'annulât avec les hautes fréquences et nous entreprîmes des expériences qui nous amenèrent aux conclusions suivantes (1) :

Lorsque l'arc s'éteint dans la lampe, il reste des ions et des électrons libres qui ne se recombinent pas instantanément et c'est cette ionisation persistante qui empêche l'action de la grille.

Pour empêcher l'amorçage de l'arc sur l'anode, on donne à la grille un potentiel négatif, afin de repousser les électrons attirés par l'anode positive. Si, à l'instant où elle doit agir, elle se trouve encore plongée dans une atmosphère ionisée, la grille négative attire les ions positifs. Il se produit alors une sorte de nuage positif autour de la grille et l'action de la grille ne peut s'étendre au delà de cette gaine, puisque dès que l'action de la grille existe, elle est compensée par les ions.

L'expérience et la théorie montrent que cette gaine compensatrice est d'autant plus petite que la densité d'ionisation est plus grande, et que la tension sur la grille est plus faible.

Avec les densités d'ionisation que l'on a dans les ampoules immédiatement après l'extinction d'un arc, cette gaine réduit la zone d'action de la grille sensiblement à ses dimensions géométriques. Si cette grille est formée d'un disque percé de trous, l'action de la grille se retrouvera lorsque les gaines auront rempli tous les trous. Comme l'épaisseur de ces gaines est fonction de la densité d'ionisation, laquelle est elle-même fonction du temps, il s'écoulera un temps, qui peut être relativement important, avant que la gaine ait gagné le

(1) Un article détaillé sur ces expériences paraîtra prochainement.

Digitized by Google

trou et que la grille donne son plein effet. Ceci montre qu'il n'est pas nécessaire que l'ionisation soit complètement nulle pour que l'effet de la grille se retrouve. De plus, on voit qu'on est conduit à diminuer les dimensions des trous de la grille pour que la gaine les remplisse rapidement. Malheureusement, on est limité dans cette voie, parce que, outre qu'on étrangle l'arc, ce qui élève la température, la tension d'amorçage sur l'anode est fortement augmentée.

On ne peut augmenter outre mesure la tension négative sur la grille pour améliorer l'action de cette dernière, même avant d'arriver aux limites dangereuses parce que, si l'on rend une grille négative pendant l'instant où l'arc existe, ce dernier ne se répartit plus uniformément dans toute la surface de la grille et il tend à se concentrer dans certaines régions, et par conséquent, à donner de fortes ionisations et à limiter, après l'extinction, l'action de la grille.

Ce phénomène de concentration se produit également si l'on donne à la grille une très grande dimension. La seule action dont on dispose consiste à favoriser la recombinaison en diminuant la température.

Si l'on compare deux lampes identiques, l'une à grille intérieure, l'autre à gaine, l'action de la grille se retrouve plus rapidement dans la lampe à grille intérieure.

Si on recherche comment s'appliquent ces résultats au montage de M. Giroz, on voit que l'avance à l'allumage devra non seulement être supérieure au recouvrement des arcs, mais à ce dernier augmenté du temps nécessaire à la recombinaison.

On voit également que l'avance nécessaire pour obtenir un bon fonctionnement des grilles ou des gaines sera fortement réduite dans le cas des grilles intérieures.

Si l'on suppose que le redresseur inversé marche à pleine puissance, il est vraisemblable que l'expérience conduira à une avance à l'allumage importante et le facteur de puissance s'en ressentira dans de très larges limites.

En résumé, la méfiance que l'on a vis-à-vis de la grille intérieure concernant les allumages en retour possibles n'est pas justifiée, d'autant que l'appareil ne devra marcher qu'à charge réduite, si l'on désire un facteur de puissance plus convenable.

De plus, l'avance à l'allumage sera plus faible avec une grille intérieure qu'avec une gaine.

Je me permets de rappeler également ici deux systèmes de montages qui ont été proposés par M. Leblanc en vue de la transformation

Digitized by Google

du courant continu haute tension en courant alternatif basse tension :

1° *Avec les redresseurs à vapeur de mercure à grille.* — Le problème, au fond, consiste à couper et à établir un courant continu dans des circuits convenables. On obtient ensuite un courant sinusoïdal en combinant convenablement ces courants rectangulaires. Or, le relais à arc ne permet pas de couper un courant sur l'anode avec la grille.

Mais, la grille étant négative, si l'on coupe le courant d'anode pendant un temps suffisant et tel que la densité d'ionisation au voisinage de la grille soit tombée au-dessous d'une certaine limite, le courant d'anode ne peut se rétablir.

Pour obtenir cette interruption de courant, M. LEBLANC superposait au courant d'anode un courant alternatif de fréquence élevée et dont le sens et l'intensité étaient tels que le courant d'anode puisse s'annuler.

2° *Avec les lampes audions.* — Ce montage est particulièrement applicable à la transformation du courant continu haute tension en courant alternatif.

Un circuit à courant continu 1-2 peut débiter à travers un transfor-

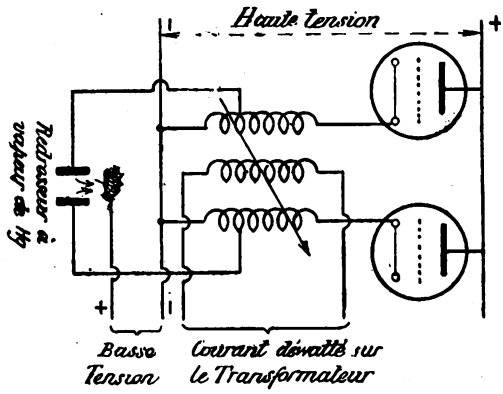


Fig. 11. — Montage avec lampes audions.

mateur à 2 primaires. Le premier primaire 3 est couplé à une première lampe audion 4 et le deuxième primaire 5 est alimenté par la lampe 6. Les polarités sur la grille des lampes 4 et 6 sont telles que lorsque l'une est très positive, l'autre est très négative et que le courant ne puisse passer que sur une lampe à la fois.

Pour obtenir un bon rendement, M LEBLANC proposait de faire fonctionner les lampes par tout ou rien, c'est-à-dire avec le courant

Digitized by Google

de saturation, donc avec une chute de tension minimum, ou sans aucun courant. Cela était possible en portant les grilles à des potentiels positifs et négatifs assez élevés. On obtenait alors dans les enroulements 3 et 5 des courants rectangulaires, de signe contraire.

L'utilisation de n groupes de 2 lampes dont les grilles étaient actionnées par des tensions n *phasées* permettait d'obtenir des courants n phasés sensiblement sinusoïdaux.

De plus, c'était un moyen commode de faire marcher un certain nombre de lampes en parallèle.

A notre avis, il n'est pas douteux qu'un pareil dispositif ne soit bientôt utilisable, en raison des progrès effectués dans les lampes électroniques. On parle couramment en T. S. F. de lampes de 25 et

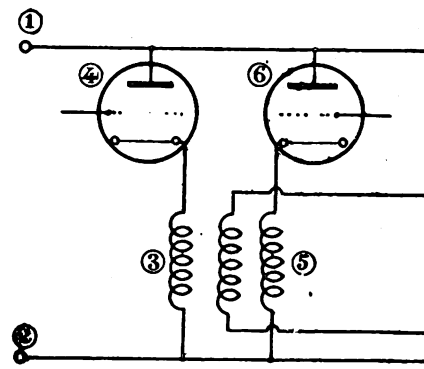


Fig. 12. — Montage avec redresseurs à grille.

50 kW et on nous annonce d'Amérique des lampes triodes de 100 kW. Il est vraisemblable que l'utilisation de lampes magnétrons, qui permettent des puissances unitaires de l'ordre de 1 000 kW, permettraient déjà une application fort importante de ce procédé.

En ce qui concerne l'application spéciale à la traction électrique, un problème intéressant est le transport d'énergie à grande distance sous haute tension continue, et la transformation de cette haute tension continue en basse tension continue.

Si on utilise un groupe de 2 lampes montées en tout ou rien comme l'indiquait M. LEBLANC, on obtient un courant alternatif de forme rectangulaire qu'il est alors facile de redresser avec les appareils à vapeur de mercure. On pourrait alors utiliser une fréquence de transformation relativement élevée, ce qui permettrait un dimension-

Digitized by Google

nement de matériel relativement réduit. Mais alors il est vraisemblable que les redresseurs à vapeur de mercure actuels auraient une capacité de transformation diminuant avec la fréquence. Au point de vue commercial, il y aurait une fréquence donnant à l'installation un prix minimum. Rien n'empêche d'ailleurs d'avoir plusieurs installations identiques, marchant en parallèle. Dans ce cas, les tensions grilles des différents groupes de 2 lampes seraient déphasés les unes par rapport aux autres. On obtiendrait alors des courants continus extrêmement constants dans lesquels les harmoniques seraient d'un ordre élevé et peu important.

Les effets d'induction sur les lignes à basse tension seraient réduits à des valeurs extrêmement faibles.

Bien entendu tous ces montages ne sont aptes qu'à fournir des courants wattés. Les courants déwattés sont alors donnés, soit par des machines synchrones surexcitées, des condensateurs, des vibrateurs, etc...

M. le président GRATZMULLER. — Je remercie M. TOULY de sa contribution importante. En Angleterre, on s'est inquiété également de la transformation du courant continu à haute tension en courant alternatif et un ingénieur, M. HIGHFIELD, a fait construire le Transverter, commutateur tournant mû par un commutateur synchrone, c'est encore une solution de Maurice LEBLANC; M. BUNET l'a signalé dans l'Industrie électrique. Je ne crois pas beaucoup à cette solution, mais il est assez curieux que les conceptions de Maurice LEBLANC interviennent dans les deux types de solution de la tranformation du courant continu en courant alternatif.

M. GIROZ. — L'expérience effectuée au moyen d'un oscillateur à mercure pour une fréquence de l'ordre de 40 000 p : s dont vient de nous rendre compte M. TOULY, et d'où il semble résulter que la vitesse de recombinaison des ions n'est pas infinie, est extrêmement intéressante. Je voudrais demander à M. TOULY quel est le phénomène physique qui lui a permis de se rendre compte, dans cette expérience, que la recombinaison des ions ne s'effectuait pas instantanément.

M. TOULY. — L'expérience qualitative sur laquelle je me base est la suivante :

Une lampe à vapeur de mercure a sa cathode G excitée en perma-

Digitized by Google

nence. Une des anodes principales A_2 redresse un courant de fréquence élevée. La grille, en série avec une résistance r, est portée à un potentiel négatif par rapport à la cathode. La différence de potentiel aux bornes de r peut être examinée à l'oscillographe cathodique o (fig. 13).

Avant l'expérience, on note que, la cathode étant excitée et sans courant sur l'anode principale, il ne passe dans la grille négative aucun courant susceptible de faire dévier l'oscillographe.

Si l'on alimente alors l'anode en courant alternatif, pendant les alternances où il n'y a pas d'arc, il ne doit y avoir aucun courant

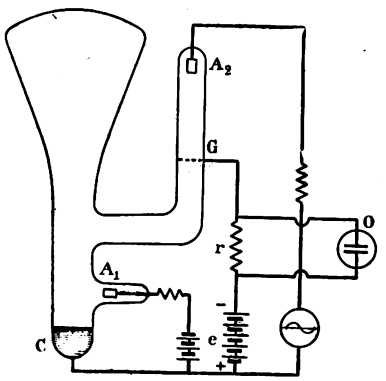


Fig. 13. — Expérience démontrant l'existence d'une vitesse finie de recombinaison des ions.

sur la grille et ce dernier doit retomber périodiquement à zéro. L'expérience montre au contraire que, dans ces conditions spéciales, le courant grille ne retombe pendant l'extinction de l'anode, qu'à 50 pour cent environ du courant de grille maximum.

Ce courant de grille est un courant d'ions qui n'ont pas disparu avec l'arc. Cette expérience a été faite en haute fréquence pour mieux observer ce courant dû aux ions non recombinés.

Pratiquement, une quantité d'ions, non visibles avec notre dispositif, est encore susceptible d'amener un mauvais fonctionnement de la grille.

Voici une seconde expérience (1) qui permet de voir la lumière émise par cette recombinaison d'ions et d'électrons.

Elle consiste simplement à examiner dans un redresseur en verre, avec un système stroboscopique quelconque, ce qui se passe après l'extinction de l'arc. Il est facile de voir, immédiatement après l'ex-

(1) En collaboration avec M. Demontvignier.

Digitized by Google

tinction, une lumière rougeâtre qui subsiste, et dont l'intensité va en décroissant avec le temps.

En résumé et, à mon avis, ces deux expériences confirment nettement la réalité de l'ionisation persistante.

M. Giroz. — Il semble donc que la vitesse de recombinaison des ions soit une vitesse finie, la durée pendant laquelle s'effectue cette recombinaison paraissant, d'après l'expérience de M. Touly, être de l'ordre de grandeur de la durée d'une période pour des fréquences de l'ordre de 40 000 p : s.

Dans un travail (1) que j'ai publié l'an passé sur la chute de tension inductive dans les redresseurs à vapeur de mercure, j'ai montré que la caractéristique de la tension redressée en fonction de la charge est une ligne brisée, chaque segment correspondant à la mise en débit d'une nouvelle anode. Au moment du court-circuit, quand la tension redressée est nulle, toutes les anodes débitent simultanément.

Quand on calcule, théoriquement, cette caractéristique pour une inductance de fuite donnée du transformateur d'alimentation, on trouve que ces différents segments de droite ne devraient se raccorder que d'une façon discontinue, par l'intermédiaire de petits segments verticaux. Pratiquement, au contraire, on a relevé que la caractéristique des redresseurs, si elle est bien conforme à ce que prévoit la théorie et présente bien l'allure d'une ligne brisée, ne présente pas cependant ces petites discontinuités théoriques, et que les différents segments se raccordent normalement à leur point d'intersection. Comme le raisonnement théorique est bien exact, on est conduit à penser, pour expliquer l'absence de ces discontinuités, que l'hypothèse fondamentale qu'on admet lorsqu'on étudie théoriquement le fonctionnement d'un redresseur, à savoir que c'est toujours la ou les anodes dont le potentiel par rapport à la cathode est supérieur à celui de toutes les autres qui débitent seules, n'est pas rigoureusement exact. Je pense qu'on pourrait expliquer cet écart entre l'expérience et la théorie, précisément par ce fait, que confirme l'expérience de M. Touly, que la vitesse de recombinaison des ions étant une vitesse finie, il en résulte un certain retard à l'amorçage de l'arc qui serait un phénomène analogue à d'autres phénomènes bien connus de physique élémentaire, tels que le retard à la vaporisation et le retard à la condensation.

(1) *Revue Générale d'Électricité*, des 14 et 21 Février 1925.

Digitized by Google

M. Demontvignier. — Contrairement à ce que pense M. Giroz, je ne crois pas que l'ionisation résiduelle soit ici en cause ; le fait qu'on ne retrouve pas, sur les caractéristiques expérimentales de chute de tension des redresseurs à vapeur de mercure, les discontinuités prévues par le calcul doit avoir, à mon avis, une autre origine. Dans les théories publiées jusqu'à ce jour sur la question, en particulier dans celle de M. Giroz et dans la mienne, on suppose qu'une anode s'amorce lorsque son potentiel surpasse celui de la cathode d'une quantité égale à la chute de tension dans l'arc ; or l'expérience montre qu'il n'en est pas toujours ainsi et que, pour qu'une anode s'amorce, il faut que son potentiel, par rapport à la cathode, atteigne une valeur supérieure à la chute de tension dans l'arc amorcé, valeur qu'on peut appeler la « tension d'amorçage » de l'anode. L'introduction de cette notion dans la théorie de la chute inductive de tension des redresseurs montre qu'il suffit d'une tension d'amorçage supérieure d'une dizaine de volts à la chute de tension dans l'arc pour expliquer l'absence des discontinuités théoriques dans les courbes expérimentales tracées en vue de la recherche de ces dernières ; or l'expérience montre qu'on observe souvent des différences plus considérables.

Je suis d'accord, par contre, avec M. Giroz sur le fait que l'existence de l'ionisation résiduelle peut éclaircir beaucoup de faits relatifs aux redresseurs à mercure. En particulier, ainsi que l'exposait M. Touly, nous pensons qu'il faut voir dans la présence d'une quantité importante d'ions non recombinés autour des anodes après extinction de celles-ci, une des principales causes des allumages en retour. Ce sont ces ions qui, attirés par l'anode lorsque la tension s'inverse, amènent dans certaines conditions la formation d'une tache cathodique sur l'anode.

M. Giroz. — Je suis d'accord avec M. Demontvignier pour admettre cette dernière explication, mais je pense qu'en fin de compte, c'est encore la vitesse finie de recombinaison des ions qui est en cause, puisqu'elle peut expliquer la différence entre la tension d'amorçage de l'arc et la chute de tension dans l'arc.

M. Langlois présente un film de la General Electric C^e^ *sur les stations automatiques aux Etats-Unis.*

Digitized by Google

M. DE CÖNINCK présente son rapport sur *les avantages comparés de l'électrification appliquée aux voies ferrées ou aux véhicules automobiles sur routes au point de vue de l'économie nationale* (1).

M. FOURCAULT. — Il y a dans la communication de M. DE CONINCK des faits assez troublants, les chiffres qu'il cite ne sont pas contestables ; il en ressortirait qu'il serait imprudent de risquer maintenant des capitaux dans la création ou même l'électrification des chemins de fer. Mais il me semble que M. DE CONINCK ne compare pas des choses bien comparables, lorsqu'il parle des tarifs des chemins de fer, lesquels contiennent des avantages pour certaines marchandises et qui comprennent aussi la mauvaise utilisation du matériel, la marche à vide des wagons, impossible à éviter lorsqu'il est nécessaire, par exemple, de « désembouteiller » un port, une gare, etc... Dans la comparaison établie avec les automobiles, il compte évidemment que la marche s'effectue toujours à pleine charge, mais cette condition n'est nullement assurée. Les camions, par exemple, ne donnent pas l'avantage du groupage que réalisent les gares.

Ce point n'a donc peut-être pas été étudié suffisamment.

D'autre part, le trafic se porterait sur quelques grandes voies où les camions seraient très serrés et sur d'autres centaines de kilomètres de route, il n'y aurait presque rien. Je crois donc pouvoir conclure que la comparaison faite ne tient pas compte exactement de toutes les conditions intervenant dans l'ensemble des « transports publics ».

On donne actuellement en France beaucoup de concessions pour transports départementaux par automobiles. Or, j'ai eu la curiosité d'en examiner les tarifs et j'ai constaté qu'on donne des concessions à raison de 20 centimes par *voyageur* et par kilomètre ; nous sommes très loin des 10 ou 20 centimes par tonne, et malgré cela, les concessionnaires sont obligés de demander des subventions.

Il y a donc des données économiques qui ne paraissent pas au point dans la comparaison établie par M. DE CONINCK. La marche à vide ne doit cependant pas intervenir beaucoup, car les concessionnaires ne sont même pas obligés d'assurer tous les départs s'il y a peu de voyageurs.

Ces observations ont surtout pour but d'indiquer qu'il est néces-

---

(1) *Bulletin de la Société Française des Électriciens.* Tome VI, 4e Série, n° 61, Septembre 1926, page 1045.

Digitized by Google

saire de mettre au point toutes les considérations économiques du problème des transports, les conclusions de M. DE CONINCK basées sur des points particuliers très exacts, paraissent très impressionnantes au premier abord, mais elles perdent de leur importance si on envisage l'ensemble du problème des transports.

M. PERROUSSET présente son rapport sur *les trolleybus* (1) auquel il ajoute l'annexe suivante :

1° *Remarques sur les trolleybus du Gard.* — En 1920-1922, avant la décision prise de créer un réseau de Trolleybus pour la banlieue de Nîmes, une étude comparative de prévisions entre divers modes de transports avait été soigneusement exécutée.

Elle se résume par le tableau suivant communiqué par M. BONNET, Directeur de l'Exploitation.

Caractéristiques du Système	Frais de 1er établissement	Charges fixes annuelles	Frais d'exploitation
	Francs —	Francs —	Francs —
1° Tramways.			
37 km de réseau.			
6 Motrices et 6 Remorques.	7 625 000 »	597 316 »	»
160 600 km-voiture annuels.			
2° Trolleybus.			
37 km de reseau.			
9 Voitures à voyageurs.			
2 Camions 7 tonnes	1 105 000 »	127 930 »	206 816 »
3 Remorques 7 tonnes			
172 280 km-voiture annuels.			
3° Autobus.			
37 km de réseau.			
10 Voitures à voyageurs			
4 Remorques à moteurs.	2 836 000 »	234 676 »	78 222 »
172 800 km-voiture annuels.			

Il en résulte qu'en 1920-22 le tramway s'éliminait complètement par les frais de premier établissement.

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VI, 4e série, n° 61, Septembre 1926, p. 1064.

Digitized by Google

Le trolleybus donnait déjà à cette époque un gain annuel sur l'autobus, de (127 930 + 206 816) − (234 676 + 78 222) = 21 848 francs.

Ce gain était prévu comme un minimum, car les km-voitures étaient évalués au minimum. Chaque km-voiture parcouru en plus eut augmenté le gain en faveur des trolleybus de 0 fr. 75 environ.

D'autre part, à ce moment, l'essence valait 1 fr. 65 le litre, l'huile de graissage 3 fr. 40 le kg (1). Si donc on avait malgré tout adopté l'autobus, les frais actuels d'exploitation seraient devenus (avec l'essence à 2 fr. 90 le litre et l'huile à 8 fr. 50 le kg) de 334 321 francs. Le trolleybus réalise donc actuellement (le prix du kWh n'ayant pas varié et en tenant compte de l'huile), une économie annuelle de 140 500 francs environ, sur la base prévue pour les km-voitures.

Le réseau de trolleybus du Gard avait donc été décidé par l'étude résumée ci-dessus. En fait, lors de sa réalisation, il a été augmenté puisqu'on a vu qu'il comporte 60 km de développement, 10 voitures à voyageurs et 15 remorques à moteur.

L'ampleur de ce réseau a permis de voir que :

a) dans la construction des voitures, il ne faut pas prendre simplement un châssis d'automobile et lui appliquer simplement un moteur électrique. Le châssis doit être calculé spécialement pour le moteur et ce dernier pour les conditions de traction sur routes.

b) par suite de la douceur du roulement et des démarrages, les bandages pleins qui font ordinairement 20 000 km sur un camion, vont jusqu'à 50 000 km sur un trolleybus. Pour les pneumatiques, on peut compter sur une amélioration analogue.

2° *Frais d'entretien.* — A bases égales, on peut décompter comme suit les frais d'entretien :

Trolleybus bien étudié :

Châssis et caisses, par voiture-km	0 fr. 080
Bandages (à 2 400 francs le jeu)	0 fr. 048
Graissage avec huile automobile à 5 fr. 90 le kg	0 fr. 060

(1) Les essais effectués à l'époque montraient qu'il fallait pour le parcours envisagé :

Autobus { essence : 0,450 litre effectif + 0,850 — perdu } = 0,5 litre par km.-voiture. ; huile : 2 kg. aux 100 km.

Trolleybus { 1 kwh. par voiture-km. en courant continu. ; huile : 1 kg. aux 100 km.

Digitized by Google

Il faut remarquer que ce poste peut être diminué, la construction spéciale pouvant permettre l'emploi d'huile ordinaire à 1 fr. 80 le kg on a alors seulement 0 fr. 018 de graissage par km-voiture.

En ajoutant 0 fr. 06 pour la partie électrique des voitures on a comme frais d'entretien :

0 fr. 248 à 0 fr. 206 par km-voiture. Valeurs moyennes entre 0 fr. 18 pour les voitures neuves et 0 fr. 30 pour les voitures très usagées ayant plus de 6 ou 7 ans de service.

Autobus : (valeurs moyennes)

Châssis, caisse, moteur	0 fr. 370	par km-voiture ;
Bandages (à 2 400 fr le jeu)		
Graissage (à 5 fr. 90 le kg)	0 fr. 118	» »
Total	0 fr. 608	

(La voiture neuve, c'est-à-dire jusqu'à un an de service, peut donner environ 0 fr. 46).

Le trolleybus bénéficie donc de 0 fr. 36 à 0 fr. 40 d'économie d'entretien par km-voiture, ce qui compense bien au delà les 0 fr. 10 par km-voiture qu'il faut compter pour l'entretien de la ligne de trolleybus sur le réseau du Gard.

Ceci peut être illustré par les faits suivants :

Sur ce réseau, il arrive souvent qu'une voiture assure sans arrêts 17 h. 30′ de service quotidien (260 km) pendant 15 jours de suite, soit 3 900 km, sans aucun entretien.

Pendant la première année du service mixte de marchandises sur ce réseau, une seule voiture, toujours la même, avec en moyenne deux remorques à moteurs attelées, a effectué quotidiennement ses 70 km sans aucune défaillance (25 550 km au total pour l'année) ; cette voiture continue d'ailleurs actuellement comme si rien n'était.

Enfin, celles des voitures qui ont plus de 60 000 km n'ont pas besoin de révision.

Nous ne croyons pas qu'un autobus thermique puisse faire des performances analogues, ni même dépasser un trajet journalier de 150 km sur routes de province en état plutôt médiocre.

3° *Les véhicules à gazogène.* — Quoique ces véhicules ne soient pas encore répandus, il est bon de voir ce que deviendra le trolleybus devant eux.

Digitized by Google

Au point de vue entretien, les camions à gazogène coûteront aussi cher, si non plus, que les véhicules à essence, principalement à cause du moteur thermique. Il ne peut y avoir d'avantage que dans le prix de l'énergie consommée.

Actuellement, d'après les chiffres de concours publiés par les constructeurs, il faut environ 1,4 kg de déchet de bois, par cheval-heure, chiffre ne comprenant pas les pertes aux manutentions, magasinage, etc... On est en droit de compter, de plus, qu'il y aura une augmentation de consommation après quelque temps de service du véhicule, comme il arrive pour les camions à essence qui passent rapidement de 40 à 55 litres aux 100 km après un an de service sur route. Par analogie, on arriverait ainsi rapidement à : $\frac{1,4 \times 55}{40} = 1,9$ kg de bois.

Actuellement, la demande sur le marché de ces déchets de bois pour gazogène de véhicules est nulle, et le prix en est cependant déjà de 20 fr. les 100 kg, soit une dépense de $1,4 \times 0,2 = 0$ fr. 28 à $1,9 \times 0,2 = 0$ fr. 38 par ch h, ou 0 fr. 38 à 0 fr. 52 par kWh.

Si nous prenons, par exemple, les trolleybus de Nîmes qui consomment en continu sur les barres des sous-stations au grand maximum 1,1 kWh par voiture-kilomètre, éclairage et chauffage compris (1), soit 0 fr. 41 tous frais de transformation de courant, d'entretien et d'amortissement des sous-stations compris, les voitures équivalentes à gazogène consommeraient de

$$1,1 \times 0,38 = 0 \text{ fr. } 42 \text{ à } 1,1 \times 0,52 = 0 \text{ fr. } 57 \text{ par km-voiture.}$$

L'avantage est donc assuré dès maintenant au trolleybus. Il ne pourra que s'accentuer, car le prix de 0 fr. 41 que nous prenons pour le kWh de Nîmes est basé sur le décompte du compteur général et sur 126 607 km-voitures seulement, courus de juin 24 à mai 25. Ce prix ne pourra que diminuer avec l'augmentation du trafic en km-voiture pour tendre vers une valeur de 0 fr. 30 à 0 fr. 25 environ, le courant en haute tension ne coûtant que 0 fr. 20 le jour et 0 fr. 15 la nuit. Au contraire, le prix des déchets de bois ira en augmentant avec la demande de la consommation qui deviendra rapidement consi-

(1) Pour mettre les choses au pire, pour les trolleybus, nous avons compté, non la consommation propre des voitures, mais celle prise aux compteurs continus qui enregistrent ainsi les pertes en ligne, l'éclairage des voitures et des sous stations le chauffage et même des voyages d'essais nombreux des voitures, non décomptés dans les Km parcourus, qui sont ceux du service.

Digitized by Google

dérable : 10 000 camions de 3,5 à 10 tonnes ou autobus, à gazogène, faisant chacun 100 km par jour sur des routes, demanderaient annuellement de 360 000 à 750 000 T de déchets de bois.

M. Gasquet. — J'ai entendu avec grand plaisir ce que disait M. de Coninck, au sujet des véhicules électriques à accumulateurs et l'espoir exprimé par lui que ces véhicules pourraient, à certains moments, faire des trajets réguliers sur les grandes routes françaises. Pour l'instant en France, nous n'en sommes pas encore là, car la traction à accumulateurs sur route en est à son début et pour être sûr de ne pas errer dans les applications, nous avons pensé que, du moins momentanément, il fallait en limiter les applications.

A l'étranger et, particulièrement, dans les pays anglo-saxons, les véhicules à accumulateurs réussissent lorsqu'il s'agit : 1° de trajets limités ; 2° d'arrêts nombreux.

A Lyon, on a mis en service un autobus qui donne satisfaction au public, mais cependant on ne continue pas à en acheter. Malheureusement, en France, la crise économique actuelle, comme je l'ai montré hier à la 3e section, arrête les commandes.

En ce qui concerne la traction sur route, il y a un moment où la diminution de prix au kilomètre compensera la dépense supplémentaire que l'on a faite pour l'achat d'un véhicule, il y aura alors avantage pour la voiture à accumulateurs ; cela arrive normalement lorsque le parcours journalier atteint 25 à 30 km, peut-être 20. Je n'ai pas la prétention de donner des chiffres exacts.

Puis, quand on aura dépassé la possibilité des batteries d'accumulateurs on pourra, en cours de route, grâce à une standardisation intelligente, pratiquer des recharges en des endroits déterminés d'avance. Si une série de véhicules sur route font les mêmes trajets tous les jours, on aura peut-être avantage à mettre en tête d'étape des postes de changement de batteries.

M. le Président Gratzmuller. — Je remercie M. Gasquet, il aurait été intéressant d'entendre une voix autorisée au courant de la solution concurrente thermique avec tracteur à moteur à gaz pauvre. M. Guiselin, mis dans l'impossibilité d'assister à la discussion, est venu cependant pour s'excuser au début de la séance.

Nous nous trouvons, comme conséquence de la communication de M. de Coninck, avec trois modes de traction concurrents économiques.

Digitized by Google

Par voie électrique, en dehors des tramways, il y a les trolleybus, la transmission électrique à moteur thermique et le véhicule à accumulateurs.

Les tramways, nous n'en parlerons pas. M. BACQUEYRISSE, prochainement, viendra nous exposer ses vues ; mais, dans l'état actuel, il semble qu'il soit impossible, immédiatement, dans la plupart des cas de monter des affaires nouvelles de tramways à cause, précisément, des frais d'établissement.

La traction par accumulateurs a certainement un champ incontestable ; jusqu'où peut-elle concurrencer les autres ? je ne sais, mais elle est certainement applicable dans les mines, surtout grisouteuses, et dans les transports urbains ; je crois qu'on peut difficilement lui demander de lutter avec les autres systèmes pour les transports rapides hors des villes, ou dans les trajets à fortes rampes.

Il y a les trolleybus. Dans l'état actuel, la question des carburants, du pétrole ou de l'essence venant de l'étranger est une question fondamentale ; cela donne par conséquent un intérêt nouveau très particulier à la question de la traction électrique urbaine ou départementale. La solution par trolleybus me semble, au point de vue pratique, celle qui peut concurrencer le plus facilement les tramways. J'ai insisté beaucoup, pour que M. PERROUSSET vienne nous présenter sa communication sur le matériel des Constructions électriques de France, car je crois que cette société a fait le premier effort un peu important pour établir des trolleybus en France et je remercie le général ANTHOINE et M. BRÉAUD, d'avoir favorisé l'intervention de M. PERROUSSET. Je crois qu'il faut s'incliner devant ce fait, qu'avec les chiffres que nous a donnés M. PERROUSSET, pour le moment, une Compagnie de Tramways ne peut pas concurrencer les trolleybus, si elle n'a pas un débit énorme.

Voilà ma façon de voir la question, mais également j'ai été tout à fait favorable à ce que M. DE CONINCK vienne nous présenter ses idées, un peu révolutionnaires, car je crois qu'il est nécessaire de remuer les idées, même si elles sont audacieuses ; ce n'est pas du temps perdu, surtout quand on raisonne sa folie. Ce que M. DE CONINCK fait certainement.

Un ingénieur des chemins de fer, membre de notre Société, mais que je ne peux pas nommer, me disait : On pourrait certainement tripler la capacité des transports sur les voies de chemin de fer. La

Digitized by Google

caractéristique des voies ferrées me paraît être dans la rapidité et la grandeur du débit.

D'autre part, j'ai pensé à M. DE CONINCK car, en deux circonstances diverses, en voyageant en juillet et août d'abord, puis en voyageant en montagne, j'ai vu des travaux importants, hydrauliques, dans un endroit où l'on avait de grands transports de matériel à faire ; là, on avait posé des rails et une petite locomotive transportait des wagonnets, on avait trouvé cela plus simple pour éviter le défonçage d'une route, le rail se défendait donc.

Au contraire, j'ai été visiter l'usine d'un de mes amis, aux environs de Rouen, c'est un homme très pratique, très réaliste, il m'a montré des tracteurs, et je lui ai dit : Que faites-vous de ces tracteurs ? Il me répondit : C'est pour transporter mon matériel à Paris ; ça me coûte meilleur marché que par le train. Il connaît très bien les questions de prix de revient.

D'un autre côté, par hasard, j'ai rencontré des voitures de livraison du Printemps, aux environs de Rouen, par conséquent des transports par camions à une distance de 160 km de Paris. Voilà donc un fait que nul ne pourra empêcher. Et l'un des gros avantages dans l'état actuel, c'est qu'il n'y a pas d'emballage, comme l'avait dit M. DE CONINCK, pas de transport pour aller à la gare, pas de chargement, pas de déchargement.

Il est évident que la concurrence au chemin de fer s'établira ; est-ce que cela supprimera les chemins de fer ? je ne le crois pas. Le moyen le plus pratique, en cas de très gros transports sur une voie donnée, n'est-il pas le chemin de fer et la locomotive ? Mais, il est certain que la concurrence des camions n'est pas négligeable et que le transport des voyageurs par automobile est un fait accompli, tout au moins pour le tourisme.

Je crois que sur dix personnes qui vont au bord de la mer avec leur famille, il y en a 5 ou 6 qui voyagent en automobile.

Donc la folie de M. DE CONINCK n'est pas complète.

M. DARRIEUS. — Si la justesse des observations de M. DE CONINCK paraît dans l'ensemble indéniable, ses arguments appellent peut-être une autre conclusion, car le contraste entre le développement rapide actuel des transports automobiles et cette stagnation relative, qui affecte depuis de longues années les chemins de fer, loin de révéler une infériorité de principe irrémédiable de ces derniers, est plutôt due

Digitized by Google

à une série de causes qui n'ont rien de technique, tandis que les raisons immanentes d'ordre physique qui devraient toujours donner l'avantage économique aux transports sur rails, et que confirment des observations de simple bon sens, conservent toute leur valeur.

Au surplus ce même pays, la Californie, qui avec de magnifiques routes bétonnées, possède au monde la plus forte proportion d'automobiles (une pour quatre habitants), possède en même temps autour de San-Francisco et de Los-Angelès, l'un des systèmes de chemins de fer électriques suburbains à ciel ouvert, les plus étendus, les plus confortables et les plus rapides qui soient au monde.

Souhaitons plutôt que les chemins de fer, réveillant le large esprit d'initiative et de progrès qui animait leurs créateurs, sachent, par exemple, pour l'adoption de la commande et de la suspension individuelles des essieux, voire des roues, dans les locomotives, trouver des suggestions heureuses dans le domaine de l'automobile, où, à côté d'un empirisme parfois grossier, règne tout au moins, un esprit fécond de recherche et d'invention.

M. le Président GRATZMULLER. — Je crois en particulier que la consommation de lubréfiants est maintenant réduite, même dans les voitures avec moteurs à suspension par le nez, car on fait des moteurs à roulements à billes ou à rouleaux dans lesquels le graissage est économique et nécessite peu d'entretien. Je le sais, car les tramways de Strasbourg, de Mulhouse, de Belfort sont dans ce cas et c'est précisément dans ce but que je les ai étudiés.

De même pour les engrenages, on fait des engrenages silencieux qui durent extrêmement longtemps maintenant.

La solution par moteurs entièrement suspendus est très intéressante.

M. DE CONINCK. — Pour répondre aux observations de M. DARRIEUS et de M. FOURCAULT, il me suffira de préciser ma pensée.

Dans ma communication, j'ai surtout envisagé la question du *transport des marchandises*.

Je n'ai pas insisté beaucoup sur le trafic des voyageurs puisque, dans les recettes des Compagnies, il n'entre que pour une faible fraction, surtout si l'on met à part les lignes de banlieue, notoirement déficitaires, en raison des tarifs réduits appliqués à certaines catégories d'usagers. Au cours d'une séance de la Société des Ingénieurs Civils,

Digitized by Google

on a pu entendre une personnalité appartenant au monde des chemins de fer, qualifier ces tarifs de « scandaleux ». Pour le trafic des voyageurs à plein tarif, la concurrence de l'automobile est déjà très vive, même sur les longs parcours. Une foule de touristes utilisent leurs voitures personnelles, ou des autos de louage, pour gagner la Côte d'Azur ou d'Argent, les stations balnéaires, etc.

Cependant, j'ai considéré plus particulièrement l'utilisation de notre réseau routier au point de vue du *transport des marchandises*. Il faut bien se rendre compte que, en France, chaque région se suffit à elle-même pour la plus grande partie de ses besoins. La consommation et la production étant réparties, dans notre pays, d'une manière assez uniforme, il en résulte que, pour la majorité des produits, les distances de transport sont peu considérables. L'emploi de l'automobile est donc tout indiqué. Pour les transports à longue distance de matières pondéreuses (charbon, etc.), il serait logique d'utiliser autant que possible la batellerie et le cabotage, de préférence à la voie ferrée.

Il n'est donc pas absurde de prévoir que les Compagnies de chemins de fer pourraient perdre un jour la plus grande partie de leur trafic actuel, puisqu'elles n'ont aucun moyen, ni aucun droit, d'obliger le public à utiliser leurs services. Si les chemins de fer devaient vivre sur les seules recettes des lignes de banlieue, que deviendrait leur situation financière déjà si précaire ?

Dans les comparaisons avec l'étranger, il convient de tenir compte des conditions *actuelles*, et non pas de celles qui pouvaient prévaloir il y a plusieurs années. M. Darrieus a cité le cas de la Californie, où la proportion d'automobiles est particulièrement élevée, mais où l'on rencontre cependant un réseau très étendu de lignes électrifiées. L'établissement de ce réseau est certainement antérieur au mouvement actuel en faveur des transports sur routes, qui n'a commencé à prendre de l'ampleur que tout récemment, à la suite des améliorations considérables apportées par les américains à leur réseau routier.

Cette tendance ne pourra que s'accentuer avec les progrès rapides enregistrés dans le domaine des transports aériens. Des mesures très précises effectuées aux Etats-Unis ont montré que l'usure des bandages, par exemple, est environ sept fois moindre sur les chaussées à surface dure que sur les routes ordinaires en macadam. Un bandage fait couramment 60 000 km et l'amortissement du véhicule lui-même peut s'étendre sur un parcours total de 600 000 km. Le chiffre de

Digitized by Google

300 000 km est considéré comme tout à fait normal pour les autos-cars des services publics américains.

L'étude des conditions existant *à l'heure actuelle*, montre que la situation des chemins de fer, en présence de la concurrence de l'automobile, doit être considérée avec la plus grande attention. Dans presque tous les pays, les services rendus par l'automobile, mesurés par les sommes dépensées, dépassent d'ores et déjà le chiffre des recettes des transports ferroviaires.

En Angleterre, les Compagnies de chemins de fer ont pris depuis longtemps le sage parti de recourir elles-mêmes aux transports routiers, même pour les marchandises.

Aux Etat-Unis, telle Compagnie accuse un déficit équivalent à 120 millions de francs, dû à la concurrence de l'automobile (1).

Au Canada, il est question de transformer en auto-route une ligne de 240 km, dont l'exploitation est déficitaire.

Les allemands eux-mêmes, si férus cependant d'industrie lourde et de grosse ferraille, développent aujourd'hui leurs transports routiers et aériens.

En Suisse, pays par excellence de l'électrification des chemins de fer, il s'est constitué une société pour l'exploitation des transports routiers, dans la section de laquelle l'Etat helvétique est entré pour moitié. Il faut en voir la cause dans les prix presque prohibitifs atteints par les tarifs des chemins de fer fédéraux, en raison des dépenses considérables nécessitées par l'électrification. On sait que ces travaux ont été surtout poussés pendant la guerre, pour éviter le chômage dans l'industrie électrique et pour parer à l'insuffisance momentanée du ravitaillement en charbon. Le résultat a été une augmentation permanente de 50 pour cent sur les tarifs d'avant-guerre, malgré les ressources de la Suisse en houille blanche.

Enfin, dans tous les pays de civilisation moins avancée, Algérie, Maroc, Syrie, Indo-Chine, etc., le développement des transports automobiles s'avère extrêmement rapide. Les indigènes eux-mêmes créent des services de transports, avec des véhicules leur appartenant en propre.

---

(1) Voir la très intéressante communication sur « l'utilisation des routes pour les transports commerciaux par les Compagnies de chemins de fer », faite à la Société des Ingénieurs civils, par M. Arthur H. Blanchard, professeur de ponts et chaussées et transports à l'Université de Michigan, président de la « National Highway Traffic Association ».

Digitized by Google

L'objection souvent opposée en France au développement de l'automobile, à savoir l'importation de carburants étrangers, qui ferait soi-disant « baisser le franc », est démentie à la fois par la logique et par les faits. Les événements récents, tant en France qu'en Angleterre, montrent que le cours du change n'a que de lointains rapports avec la balance commerciale. Il faut prévoir d'ailleurs que le problème des combustibles liquides nationaux, ou de l'automobile fonctionnant au charbon, peut recevoir une solution intégrale dans un court délai.

Pour répondre aux objections de M. FOURCAULT, j'ajouterai que, dans l'évaluation des frais d'entretien des routes imputables à l'automobile, il faut défalquer les dépenses qui ont été nécessaires de tous temps, alors même que la locomotion mécanique était inexistante. En ce qui concerne l'objection du retour à vide, je ferai remarquer que mes évaluations sont rapportées à la charge utile *moyenne*, c'est-à-dire calculée sur le parcours total. La répartition du trafic à l'aller et au retour est d'ailleurs indépendante du mode de transport adopté, que ce soit par route ou par voie ferrée. Dans le cas des automobiles de type moderne, le rapport du poids mort à la charge utile moyenne peut être inférieur à 1, alors qu'il atteint 3 ou 4 pour les transports de marchandises par voie ferrée.

En définitive, l'objet de ma communication a été d'attirer l'attention sur l'importance que les transports automobiles par véhicules « électrifiés » peuvent et doivent prendre dans un pays comme le nôtre, qui possède un réseau routier unique au monde. Ce mode de transport est, plus que tout autre, propre à *accélérer le rythme de l'activité nationale*, condition essentielle de notre relèvement économique.

J'ai pensé que les électriciens ne peuvent se désintéresser des questions de délai et de prix de revient et doivent s'attacher à tenir compte de tous les éléments qui interviennent dans une exploitation industrielle, sans oublier les charges financières, et en particulier l'amortissement pour « obsolescence ».

La valeur économique d'une entreprise se mesure toujours, en dernier ressort, au prix payé par la collectivité pour les services rendus. Dans l'état actuel des finances publiques et privées, il convient d'éviter les dépenses qui ne sont pas immédiatement productives et de prendre pour devise :

« *Le maximum de résultats, aussitôt que possible, et aux moindres frais* ».

Digitized by Google

M. LE PRÉSIDENT GRATZMULLER. — J'avoue que lorsque j'ai eu le premier en main la première note de M. DE CONINCK, je l'ai lue d'abord avec scepticisme, et à mesure que j'avançais dans la lecture, j'ai été de plus en plus intéressé. J'estime qu'on n'a pas le droit d'empêcher M. DE CONINCK d'exprimer sa pensée, il m'a fait beaucoup réfléchir, et c'est un résultat. Je crois que c'est une bonne chose qu'il ait présenté son point de vue et je l'en remercie.

La Société Française des Electriciens doit offrir une tribune libre qui n'engage la responsabilité que de celui qui parle, à condition, bien entendu, que la communication ait une valeur technique.

Quant aux Chemins de fer, s'ils doivent envisager une concurrence à certains points de vue, les Compagnies elles-mêmes prendront des initiatives, d'ailleurs elles en prennent déjà ; quand les ingénieurs Italiens ont été reçus sur le réseau du Midi, ils ont été transportés gracieusement par des autos-cars de la Compagnie des chemins de fer du Midi. Les chemins de fer doivent se défendre facilement pour des trafics importants.

Je crois que l'intérêt des transports par routes est encore plus important en France qu'en Amérique, non seulement parce qu'il y a plus de routes en France, mais parce que les distances sont moins grandes. Les frais d'embarquement et de débarquement ont plus d'importance pour les transports jusqu'à 200 kilomètres qui sont très fréquents.

La question est donc en période d'évolution, et déjà ce qu'il faut que les ingénieurs électriciens tâchent de perfectionner, ce sont les systèmes de transmission électrique, ainsi que la réalisation du matériel le plus avantageux. Je crois que, si on a du bon matériel, il y aura toujours des gens pour l'utiliser dans certaines conditions d'application. On peut toujours trouver pour lui de bons vendeurs.

Le trolleybus est une solution à suivre attentivement et dont le développement est certain, surtout aux colonies.

Digitized by Google

ERRATA

aux rapports insérés dans le Bulletin de Septembre 1926.

Calcul du courant de court circuit dans les réseaux triphasés, par M. Fallou.

Page 984, paragraphe 3°,

au lieu de

$$\left\{\begin{aligned} U_1 &- z_0 I_0 - z_d I_d - z_i I_i = 0, \\ U_1 &- z_0 I_0 - a z_d I_d - a^2 z_i I_i = 0, \\ I_3 &= a^2 I_d + a I_i = 0. \end{aligned}\right.$$

lire

$$\left\{\begin{aligned} U_1 &- z_0 I_0 - z_d I_d - z_i I_i = 0, \\ a U_1 &- z_0 I_0 - a z_d I_d - a^2 z_i I_i = 0, \\ I_3 &= I_0 + a^2 I_d + a I_i = 0. \end{aligned}\right.$$

Page 988, équations g :

au lieu de $V_d + Z_d I_d = U$

lire $V_d + Z_d I_d = U.$

Page 999 :

au lieu de $a = -\frac{1}{2} + j\sqrt{\frac{3}{2}}$

lire $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}.$

Pouvoir de coupure des disjoncteurs à huile, par M. Charpentier,

page 1004, ligne 23, au lieu de « réparation » lire « séparation » ;

— ligne 28, au lieu de « pouvoir d'un disjoncteur », lire « pouvoir de coupure d'un disjoncteur » ;

— lignes 33 et 34, au lieu de « sans maxima précisément à l'époque, etc... » lire « sans inconvénient » :

page 1007, ligne 15, au lieu de « d'abord dans certains », lire « d'abord parce qu'il a été introduit dans certains ».

Digitized by Google

Séance du Vendredi 29 Octobre 1926

5e SECTION
TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSION PAR ONDES

Sommaire :

1° Discussion du rapport de M. Reynaud-Bonin sur les liaisons télégraphiques et téléphoniques dans l'exploitation des distributions d'énergie électrique. — MM. Neu, Brylinski : observations sur les règlements administratifs en vigueur, p. 325. — M. Lachat : installations radioélectriques du gaz de Lyon, p. 327.

2° Discussion du rapport de M. Carlini sur les commandes à distance utilisant comme récepteurs des électroaimants ou des moteurs à impulsion. — M. Damoiseaux : conditions prédominantes en téléphonie automatique, p. 334. — M. Carlini : réplique, p. 339.

Présidence de M. Bethenod, *Ingénieur-Conseil.*

M. Reynaud Bonin présente son rapport sur *les liaisons télégraphiques et téléphoniques dans l'exploitation des distributions d'énergie électrique* (1).

M. Neu. — Je m'excuse de prendre la parole après le rapport si documenté de M. Raynaud-Bonin ; mais, néanmoins, en ma qualité d'Ingénieur-Conseil de la Société d'Electricité du Tarn, je crois devoir vous donner quelques explications complémentaires.

Quand la Société d'Electricité du Tarn décida d'installer une ligne de transport d'énergie entre Toulouse et Albi, à une tension de 60 000 V, préoccupés des communications nécessaires à établir entre Toulouse et Albi, nous nous sommes adressés à l'Administration des Postes et Télégraphes, et lui avons demandé d'établir, aux frais de la Société d'Electricité du Tarn, une ligne téléphonique, soit sur ses supports déjà existants, soit sur des supports spéciaux, attendu qu'on ne pouvait songer à mettre ces fils téléphoniques sur la ligne elle-même. L'Administration des P. T. T., en la personne de la direction

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 62, Octobre 1926, p. 1077.

Digitized by Google

de Toulouse, a répondu qu'elle ne pouvait, ni faire une ligne téléphonique sur ses supports déjà existants, ni faire une ligne téléphonique sur de nouveaux supports, et cela pour la raison suivante : c'est que, voulant avoir toute facilité pour l'entretien des lignes privées, elle désirait les faire passer par ses bureaux, mais ne voulait pas y faire pénétrer la ligne téléphonique en question, provenant de gens aussi dangereux que des exploitants manipulant du courant à 60 000 V.

J'ai été grandement surpris de cette réponse, car on pourrait en conclure que l'Administration des P. T. T. a l'intention de couper les abonnements téléphoniques à tous les industriels ayant chez eux un poste à haute tension. Ce serait aller un peu loin en matière de prudence.

Désireuse de ne pas entamer une discussion avec les P. T. T., la Société d'Electricité du Tarn décida de recourir aux procédés de télégraphe imprimeur par courant à haute fréquence, mis au point par M. Latour. Ce procédé nous convenait d'autant plus que je me permets de rappeler qu'en 1905 j'ai eu l'occasion de faire les premiers essais de télégraphie par ondes porteuses sur une ligne à 5 000 V entre Valenciennes et Blanc-Misseron. Ces essais ont été décrits au Congrès des Applications de l'Electricité à Marseille en 1908.

Ces essais donnaient d'assez bons résultats, sauf que, fonctionnant au poste transmetteur avec un éclateur et au poste récepteur avec un relais thermique, il fallait un temps considérable pour transmettre une lettre ou un mot.

La Société d'Electricité du Tarn a donc chargé la Société « Haute-Fréquence » d'une installation de télégraphe imprimeur par courant haute-fréquence. Les postes utiliseront une puissance de 250 W.

On peut estimer que, pour l'exploitation d'un réseau à haute tension, l'emploi du télégraphe imprimeur, dont les messages sont imprimés, tant au départ qu'à l'arrivée, constitue un mode opératoire de grande sécurité. L'installation fonctionne même en l'absence de tout agent au poste récepteur.

Nous exprimons le regret de voir l'Administration des P. T. T. demander une redevance de la même valeur que si on employait une ligne avec des fils métalliques, sous prétexte qu'il s'agit théoriquement d'ondes porteuses ou dirigées, et non d'ondes libres, or, comme l'a dit si bien M. Raynaud-Bonin, on ne voit pas très bien le moment où les ondes sont exclusivement porteuses, dirigées ou libres.

Digitized by Google

Ensuite, je désire protester également contre la distinction de tarif que les P. T. T. veulent faire entre les installations de « sécurité » et celles d' « exploitation ». Ainsi, par exemple, l'ordre d'ouvrir un disjoncteur : est-ce de la sécurité ou de l'exploitation ?

Et si nous sommes abonnés dits de « sécurité », le jour où nous nous serons permis de donner un ordre qui ne sera pas fait exclusivement pour empêcher qu'on tue du monde, aurons-nous violé le contrat ?

L'Administration doit être un peu plus large.

La distinction devrait être établie entre « communications nécessaires au service du réseau » et « communications étrangères à ce service ».

Toute communication nécessaire à l'exploitation devrait être considérée comme d'utilité publique.

Je pense que cette installation télégraphique Toulouse-Albi marchera au printemps de 1927 et la Société d'Electricité du Tarn sera très heureuse des visites que vous voudrez bien lui faire.

M. Reynaud-Bonin. — Je me bornerai à répondre que j'ai voulu faire un exposé impartial de la situation actuelle. Ce n'est pas que je considère personnellement cette réglementation comme parfaite. Certainement, les raisons que M. Neu a données pour la critiquer sont excellentes. Je crois que l'Administration elle-même s'en est aperçue et sans trahir un secret administratif, je dois dire ici qu'une commission administrative s'occupe en ce moment-ci, précisément, de réviser les règlements.

Cette Commission ne donnera peut-être qu'un avis consultatif qui devra être ensuite examiné par d'autres commissions, d'autres directions ayant qualité pour prendre des décisions et cela pourra entraîner quelques délais ; mais il peut être intéressant pour la Société des Electriciens de savoir que l'Administration s'intéresse à la question.

M. Brylinski. — Je ne suis pas entièrement d'accord avec l'Administration des Postes et Télégraphes, mais je n'entrerai pas dans une discussion de détail devant cette assemblée. Par principe, nous ne sommes pas compétents pour aborder une critique des domaines administratifs que sont l'Administration des Travaux Publics et celle des P. T. T. Et si ces Administrations ne satisfont pas les uns ou les autres, il y a des Tribunaux pour trancher les différends. Par con-

Digitized by Google

séquent, les discussions que nous pourrions introduire sur ces sujets ne pourraient avoir aucune conclusion valable. Je considère donc qu'il est préférable de ne pas discuter la thèse qui vient d'être présentée.

Comme l'a dit M. Reynaud-Bonin, l'Administration des P. T. T. s'est aperçue qu'elle était allée un peu loin dans ses décisions. Elle manifeste de la bonne volonté ; bornons-nous à dire que nous faisons un certain nombre de réserves sur les interprétations administratives que nous a apportées M. Reynaud-Bonin.

M. Lachat. — Le réseau électrique de la Compagnie du Gaz de Lyon dessert une région industrielle et commerciale des plus peuplées et des plus actives de la France. Par suite des agrandissements successifs réalisés dans les sources de production et de l'emploi, pour les distributions, tant du courant continu que du courant triphasé, il comporte une grande diversité d'installations.

Le centre de distribution se trouve à la Station Centrale Electrique de la Mouche, à Lyon, qui est une usine génératrice thermique de 30 000 kW, produisant du courant triphasé à 10 000 V, 50 p : s : cette station est combinée avec un important poste de transformation de courant provenant de plusieurs usines hydroélectriques des Alpes ; ce poste reçoit du courant triphasé à 60 000 V et à 120 000 V et le transforme à 10 000 V.

Une partie de ce courant à 10 000 V est transportée par câbles :

1° dans des postes de répartition situés dans l'agglomération lyonnaise ; de ces postes partent des sous-feeders à 10 000 V qui alimentent des transformateurs statiques au rapport 10 000/208 V.

2° dans des sous-stations transformant le courant triphasé en courant continu pour alimenter le réseau à courant continu du centre de Lyon.

Une autre partie de ce courant à 10 000 V est transportée dans la banlieue de Lyon par un réseau aérien à 10 000 V qui alimente des transformateurs statiques au rapport 10 000/208 V.

Le courant à 60 000 V reçu au poste de la Mouche n'est pas transformé entièrement à 10 000 V dans ce poste ; une partie de ce courant est transportée par une ligne à 60 000 V dans la vallée du Rhône et transformée à 15 000 V dans des postes de transformation de grande puissance.

Digitized by Google

Il s'en suit que les systèmes de télécommunication destinés à contrôler la bonne marche de cette organisation, ont dû être choisis d'après la situation et la nature du poste ou de l'usine considérée.

Aussi, les moyens employés sur le réseau de la Compagnie du Gaz de Lyon, ont-ils dû être variés ; ils comportent :

1° La téléphonie ordinaire à double fil sous la forme de :

a) lignes privées souterraines en câbles armés, posées dans les mêmes fouilles que les canalisations souterraines ;

b) lignes privées aériennes, posées sur les mêmes supports et au-dessous des lignes de transport d'énergie ;

c) lignes souterraines ou aériennes faisant partie du réseau téléphonique d'Etat.

En ce qui concerne les relations urbaines, la téléphonie ordinaire privée de la Compagnie du Gaz de Lyon, complétée par la téléphonie du réseau d'Etat, suffit à assurer la sécurité de l'exploitation dans toutes les éventualités, mais pour les relations à une certaine distance entre les usines et les postes desservis par des lignes aériennes, les communications étant parfois interrompues ou rendues difficiles, il était indispensable d'employer deux systèmes de télécommunication se suppléant mutuellement en cas de défaillance.

En ce qui concerne le choix du procédé à superposer au système normal adopté, la Compagnie du Gaz de Lyon a fait en sorte de conjuguer les deux moyens de communication, de façon qu'ils ne soient pas sujets aux mêmes dérangements possibles. Or, les lignes téléphoniques aériennes d'Etat ou privées posées, soit sur les mêmes supports que les lignes de transport d'énergie, soit sur des supports distincts, sont affectées par les mêmes causes de troubles dus aux ruptures de conducteurs, d'isolateurs ou de supports, à la mise des conducteurs en court-circuit ou à la terre. Un orage sévissant dans une région peut les avarier simultanément, au moment précisément où des manœuvres combinées sont les plus urgentes, du fait des troubles apportés à l'exploitation par l'orage lui-même.

La téléphonie à haute fréquence à ondes dirigées ne pouvait être appliquée, par suite des conditions locales qui rendent son emploi particulièrement délicat.

La distribution électrique de la Compagnie du Gaz de Lyon comporte, en effet, de vastes réseaux souterrains de distribution ainsi qu'une grande complexité de combinaisons entre les nombreuses

Digitized by Google

lignes aériennes la reliant à divers autres secteurs d'alimentation ou de distribution de la région.

C'est pourquoi la radiotéléphonie à ondes libres, indépendante, par nature, de toute ligne, a été considérée comme le moyen de suppléance le plus logique à envisager en ce cas.

La solution devait tenir compte des limites entre lesquelles les données du problème se trouvent enfermées. Les Producteurs et Distributeurs d'énergie qui désirent utiliser ce moyen de communication sont soumis aux restrictions suivantes :

1° La longueur d'onde imposée par les règlements, doit être maintenue dans la gamme comprise entre 150 et 200 m.

2° L'émission en courant alternatif est pratiquement prohibée, car si la plupart des postes de coupure ne possèdent que du courant de cette nature, c'est surtout en cas d'arrêt de ce courant que la radiocommunication peut être appelée à jouer un rôle important.

3° Les modèles courants de postes radiotéléphoniques du commerce, comportant une série d'organes dont on peut faire varier le réglage, ne peuvent être utilisés, car pour le service spécial envisagé, il faut au contraire, avoir des postes ne comportant qu'un minimum de manœuvres pour pouvoir être confiés comme un téléphone ordinaire à un personnel peu exercé.

4° Les postes doivent, en outre, permettre une audition excellente en toutes circonstances pour éviter les risques d'ordres mal compris et ils doivent satisfaire à de nombreuses conditions sur divers points de détails qu'il serait trop long d'énumérer ici, concernant le prix de revient, la simplicité, la robustesse, l'indifférence au voisinage des lignes d'énergie, etc...

5° Enfin, les postes doivent assurer les liaisons avec le minimum de puissance pour éviter aux Producteurs et Distributeurs de trop lourdes charges pécuniaires provenant des redevances envers l'Etat, la taxe pour chaque watt d'alimentation étant élevée.

Ce sont toutes ces considérations qui arrêtent les Maisons de construction, lorsqu'on leur demande de résoudre la question, en raison des aléas financiers et des incertitudes de toutes sortes que présentent pour elles la mise au point de tout cet ensemble.

La Compagnie du Gaz de Lyon a cherché à résoudre, par ses propres moyens, ce problème dont la solution l'intéressait directement.

Digitized by Google

Toutes les recherches effectuées ont été uniquement poursuivies dans les conditions imposées par le décret du 24 novembre 1923, en particulier pour l'emploi de longueurs d'ondes comprises entre 150 et 200 m.

Le laboratoire et l'atelier radioélectriques, ainsi que le poste de commandement du réseau radiotéléphonique, sont installés au Siège Social de la Compagnie, 3, Quai des Célestins à Lyon ; un poste de mesures et de contrôle est établi à la sous-station électrique de la rue du Gazomètre, à Lyon. Les postes correspondants, actuellement en exercice, sont situés à la Station Centrale Electrique de la Mouche à Lyon, aux postes de coupures de Tassin (Rhône) et de Rochetaillée (Rhône) et à l'usine des Portes du Fier près Seyssel (Haute-Savoie), appartenant à la Société Hydro-Electrique de Lyon.

D'autres postes sont en cours de montage aux postes de coupures de Craponne (Rhône) à la Compagnie du Gaz de Lyon, ainsi qu'aux postes de Chasse (Isère) et d'Estressin (Isère) à la Société Hydro-électrique de Lyon, ce dernier poste alimentant la Société Viennoise de Distribution d'Energie.

Des postes sont prévus pour les usines d'Ugine (Savoie) ou de Venthon (Savoie) à la Société d'Electro-Chimie, d'Electro-Métallurgie et des Aciéries Electriques d'Ugine.

Un poste monté sur automobile est à l'étude, il sera de faible puissance, car il sera toujours loisible d'utiliser le poste fixe le plus proche comme poste de transit.

Les postes sont établis dans des cages métalliques appropriées et leurs organes sont étudiés pour supporter un trafic intensif. La plupart des organes constitutifs n'ont pu être trouvés dans le commerce, car les pièces détachées actuellement sur le marché sont, le plus souvent, faites pour la clientèle des amateurs. Aussi, la Compagnie du Gaz de Lyon a-t-elle dû faire établir un certain nombre de types d'organes, certains même selon des principes nouveaux jusqu'ici dans la construction courante radio-électrique et construire elle-même certaines pièces vendues par les spécialistes à des prix inabordables.

Les travaux du laboratoire radio-électrique de la Compagnie du Gaz de Lyon ont permis de constater que la gamme d'ondes de 150 m à 200 m ne présentait pas, à l'usage, des difficultés aussi grandes que celles que l'on supposait *à priori* de leur emploi.

Les postes installés sont mis en marche à l'aide de l'unique manœuvre d'un volant, dont le déplacement commande tous les circuits :

Digitized by Google

mise de l'antenne, du contrepoids ou de la terre, démarrage d'un groupe moteur-générateur, chauffage des lampes oscillatrices, modulatrices ou réceptrices, application des tensions de plaques, etc... Seul, un vernier de condensateur est maintenu à la disposition de l'opérateur pour parfaire la réception pendant la période de réglage, mais son bloquage est envisagé.

La Compagnie du Gaz de Lyon est arrivée ainsi à avoir des postes émetteurs, récepteurs, engendrant des ondes stables manipulables par des opérateurs non spécialistes et d'un prix de revient qui n'est pas excessif ; en effet, le coût d'un poste installé en ordre de marche ressort à une quinzaine de mille francs.

La nécessité de l'emploi du courant continu à l'émission, considérée comme une des conditions du programme de recherches, a été une des difficultés à surmonter, car cette condition interdisait le choix d'une haute tension d'alimentation des circuits à haute fréquence. Pour éviter les complications de moteurs de secours, thermiques ou autres, il n'était possible d'envisager que l'emploi d'accumulateurs dans les stations ne possédant que du courant alternatif, ou l'emploi de groupes convertisseurs dans celles qui possédaient déjà du courant continu à la tension du réseau de distribution. Dans les deux cas, on se trouvait en présence de tensions relativement limitées, soit par la mise en série de nombreux éléments d'accumulateurs, qui est pratiquement délicate, soit par les réserves des constructeurs qui ont à garantir des génératrices à courant continu à haute tension.

La Compagnie du Gaz de Lyon a, actuellement, arrêté son choix sur deux types de postes. Le premier, dit type 600 V, est appliqué aux liaisons à faible distance (une trentaine de kilomètres). Il est destiné aux postes desservis par un personnel auquel il serait délicat de faire manipuler des courants de tension de la deuxième catégorie. Le générateur du courant d'alimentation des circuits à haute fréquence était constitué primitivement par une batterie d'accumulateurs, système qui a donné d'excellents résultats. Cependant, la difficulté d'obtenir un bon entretien a conduit à leur remplacement par de petits groupes convertisseurs 12 V, 600 V alimentés par des batteries d'accumulateurs, mais celles-ci à basse tension de manière à ne nécessiter qu'un petit nombre d'éléments d'une plus forte capacité, ce qui facilite leur conservation en bon état.

Le second type est dit « type à 1 500 V ». Il est destiné aux liaisons jusqu'à une centaine de kilomètres et n'est placé que dans les stations

Digitized by Google

possédant un personnel plus expérimenté. Les deux types sont à peu près identiques et ne se distinguent que par les précautions de détail provenant de la différence des tensions. Les stations d'une certaine importance possèdent du courant continu avec accumulateurs pour divers usages spéciaux et le groupe moteur-générateur, généralement à 110 V, 1 500 V, est actionné par les batteries locales.

Selon la portée des liaisons, les rhéostats de champ des génératrices permettent ainsi, avec ces deux types, d'obtenir la tension d'alimentation désirée, progressivement, depuis quelques centaines de volts jusqu'à 1 500 V.

Au delà de 1 500 V, le prix des groupes augmente dans de fortes proportions et la Compagnie du Gaz de Lyon espère pouvoir assurer toutes les liaisons qui lui seront utiles avec cette tension maximum, quitte, en certains cas, à passer par un poste intermédiaire de transit.

Quant aux caractéristiques techniques des postes, elles résultent des schémas classiques qui ont paru les meilleurs et sont les plus simples à réaliser. La production des oscillations entretenues est obtenue normalement à l'aide des générateurs industriels décrits précédemment. Ils alimentent, à travers un circuit de filtrage composé de bobines de réactance à fer et de condensateurs appropriés, des lampes d'émission à montage direct. La modulation est donnée par un microphone agissant sur le circuit au moyen d'un transformateur téléphonique. Dans les postes à portée réduite, la modulation directe a donné de bons résultats, mais pour obtenir un type uniforme d'appareils, ils ont finalement été équipés comme les grands postes avec l'intermédiaire d'une lampe modulatrice.

Les antennes sont constituées par un prisme d'une vingtaine de mètres de longueur, à six brins, contenus dans un cercle de 1 m environ de diamètre avec emploi de la terre dans le petit modèle tandis que, dans le grand modèle, l'antenne est équilibrée par un contrepoids placé à 8 m au-dessous de l'antenne et constituée par quatre brins parallèles espacés de 1 m et de même longueur que le prisme d'antenne.

La puissance d'alimentation varie de 50 à 200 W selon la portée. La Compagnie du Gaz de Lyon a pu obtenir des liaisons satisfaisantes avec une puissance de 1 W par kilomètre de portée mais, comme il est nécessaire d'avoir un excédent de puissance pour surmonter les troubles dus principalement aux parasites industriels, ses prévisions sont établies sur 2 W par kilomètre de liaison.

Digitized by Google

L'étude d'un système d'appel n'a pas encore été entreprise ; pour l'instant, les relations se bornent à l'appel sur écoute à des heures déterminées ; s'il était besoin, certains des postes pourraient, du reste, se prêter à l'appel sur haut parleur.

Pour la réception, le service radioélectrique s'est arrêté, pour l'instant, au montage classique constitué par une lampe haute fréquence à résonance, une lampe détectrice à réaction suivie de deux lampes amplificatrices à basse fréquence.

Les postes fonctionnent sur une longueur d'onde unique, uniforme pour l'ensemble du réseau radiotéléphonique.

Les premiers essais ont été effectués sur l'onde de 190 m, puis, au fur et à mesure des progrès réalisés, la longueur d'onde a été descendue plus bas dans la gamme, jusqu'à 162 m, ce qui augmente le secret. A ce propos nous signalons que la Compagnie du Gaz de Lyon ne voit dans l'écoute de la radiotéléphonie à rayonnement libre, par des personnes étrangères au service de la Société, aucun risque ou danger pour les exploitations électriques en temps normal. Le secret des communications importantes peut, s'il était jugé utile, être obtenu par des abréviations prises dans des codes à établir. Ceci aurait un certain intérêt en périodes troublées.

Les postes sont établis avec une marge suffisante pour qu'il puisse être facile, en cas de besoin, de procéder assez rapidement à un nouveau réglage sur une longueur d'onde quelconque comprise entre 150 m et 200 m, au moyen d'une légère variation à donner aux bobines et aux condensateurs du circuit.

Pour compléter cet ensemble de renseignements, nous ajouterons que les postes de la Compagnie du Gaz de Lyon fonctionnent en simplex. La rapidité de la manœuvre du passage d'émission sur réception et vice versa, par du personnel entraîné, n'apporte pas de retard préjudiciable dans l'échange de conversations. La mise en duplex est toutefois envisagée, comme une amélioration souhaitable qui sera mise prochainement en étude. Il n'y a plus qu'à désirer qu'un système d'appel pratique vienne s'adjoindre aux postes décrits ; des essais seront également entrepris à ce sujet.

L'exploitation radiotéléphonique du réseau n'a jamais éprouvé de difficultés du fait de brouillages provenant d'émissions étrangères, pas même par le proche fonctionnement du poste à arc de Lyon-La-Doua. Aucun trouble n'est apporté à l'audition du fait du voisinage, même tout proche, des postes avec les lignes à 10 000 volts. Pour les

Digitized by Google

appareils placés en essais à côté des lignes à 65 000 volts, on entend quelquefois des parasites provoqués par ces lignes, mais ils semblent pouvoir être dominés facilement par un excédent de puissance à l'émission.

L'influence du voisinage des nouvelles lignes à 120 000 V n'a pas encore été étudiée.

La Compagnie du Gaz de Lyon n'a pas à supporter de frais élevés pour son exploitation radiotéléphonique, car ce service est assuré par le personnel normal des stations et dans les postes gardés, par le garde-poste ou sa femme ; au poste central placé dans l'immeuble de l'Administration, le trafic quotidien est assuré par les soins du personnel féminin.

L'entretien seul est assuré par des visites périodiques de spécialistes. Deux agents professionnels de la radiotéléphonie sont nécessaires. Un seul spécialiste ne pourrait suffire, il faut prévoir les maladies, les congés, et, pour les réglages de contrôle, il est indispensable d'avoir un agent compétent à chacun des deux postes correspondants.

Entre temps, ces agents sont occupés aux travaux du Laboratoire et de l'atelier radio-électrique.

Tels sont, dans leurs grandes lignes, les résultats obtenus à l'heure actuelle par la Compagnie du Gaz de Lyon.

M. CARLINI présente son rapport sur *les commandes à distance utilisant comme récepteurs, des électro-aimants ou des moteurs à impulsion* (1).

M. DAMOISEAUX. — Dans la seconde partie de son rapport, M. CARLINI étudie les méthodes de la téléphonie automatique, en se basant exclusivement sur les caractéristiques de la commande directe avec asservissement entre le transmetteur et le récepteur ; il limite son examen aux procédés d'établissement d'une mise en communication unique, sans tenir aucun compte de la nécessité absolue d'établir en même temps un nombre déterminé et parfois considérable d'appels simultanés, ce nombre variant de 1 500 à 2 000 dans les bureaux centraux de Paris, desservant chacun 10 000 abonnés ; se reportant aux résultats de laboratoire obtenus au moyen d'un électro-aimant dont la charge varie de 0 à 26 kg, il considère comme prépondérantes

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 4e série, tome VI, n° 62, Octobre 1926, p. 1.107.

Digitized by Google

les questions de la consommation de courant et du rendement des électros utilisés dans les bureaux centraux automatiques.

1° *Asservissement.* — Pas plus en téléphonie automatique qu'en téléphonie manuelle, il n'existe aucune condition d'asservissement entre le transmetteur et le récepteur ; l'opération du transmetteur n'est liée obligatoirement par aucun synchronisme parfait à l'opération correspondante du récepteur. Personne n'a jamais songé à exiger l'instantanéité absolue entre l'appel du demandeur et la réponse du demandé ; il suffit que la mise en communication du demandeur et du demandé, qui est le seul but réel à obtenir, s'accomplisse dans un délai qui n'excède pas la patience qu'on est en droit d'attendre des abonnés.

Dans le système automatique Rotary, le demandeur, après avoir décroché son récepteur, attend le signal de transmission, comme il attend la réponse de l'opératrice en système manuel ; ce signal reçu, il envoie comme bon lui semble le numéro demandé, sans avoir à se préoccuper en rien des conséquences électromécaniques de cet envoi ; satisfait par le travail manuel qui lui est imposé et qui lui donne l'impression de participer à l'obtention du but qu'il poursuit, il attend d'être informé de la situation du demandé, par le signal de sonnerie ou par le signal d'occupation ; cette attente, qui n'excède pas une seconde dans la plupart des cas, est supportée par le demandeur, non seulement avec patience, mais même sans qu'il s'en aperçoive. L'absence de tout asservissement permet à la communication de s'établir aussitôt que les disponibilités nécessaires sont rencontrées ; le nombre de ces disponibilités est déterminé à la fois par l'intensité du trafic à desservir, par l'économie des installations, et par la qualité de service imposée.

Nous estimons que les facilités procurées par l'absence de tout asservissement sont d'une importance suffisante pour n'exiger aucune explication supplémentaire ; toutes autres choses restant égales, on pouvait réaliser l'asservissement partiel ou même total, on n'en retirerait que des avantages purement théoriques et tout à fait illusoires dans la pratique réelle.

Dans les systèmes Strowger à commande directe, il existe bien un asservissement partiel entre l'envoi des chiffres et les sélections numériques ; mais cet asservissement est la résultante et non pas la cause ou la raison du mode d'opération que ces systèmes imposent aux électros.

Digitized by Google

2° *Intensité du trafic.* — L'intensité du trafic, qui, au point de vue de l'équipement, peut être exprimée par le nombre maximum de communications simultanées à établir dans chaque sens, exerce une influence capitale sur le nombre des organes et sur la capacité de chacun de ces organes.

Il ne faut pas appliquer sans discernement le principe de l'accessibilité aux grands groupes : quel serait l'avantage d'un sélecteur à 30 points par niveau, si le trafic à écouler par niveau n'exige que 6 ou 8 points ?

Les courbes de probabilités et d'efficacité montrent qu'un connecteur ou sélecteur final à 500 points n'est avantageux que si le trafic à destination d'un groupe de 500 abonnés n'excède pas la charge maximum que peut supporter un faisceau compatible avec la capacité d'un niveau des sélecteurs précédents ; encore faut-il, pour arriver à cette conclusion, ne considérer que le nombre et non la valeur intrinsèque individuelle de chaque sélecteur final.

3° *Consommation de courant et rendement.* — La consommation de courant dans un bureau central de 10 000 lignes à équipement complet et à trafic intense, n'exige qu'une dépense infime par rapport aux autres dépenses d'entretien et d'exploitation ; on estime qu'un bureau de 10 000 abonnés du réseau de Paris ne nécessitera pas plus de 12 000 à 15 000 fr de dépense de courant, alors que l'ensemble des frais d'entretien et d'exploitation s'élèvera à plusieurs centaines de mille francs.

La question du rendement des électros ou du rapport entre l'énergie totale mise en œuvre et l'énergie réellement utilisée est donc tout à fait accessoire et n'exerce aucune influence sur la détermination et le choix des méthodes d'opération et de fonctionnement.

Conclusion. — Le but poursuivi par les systèmes automatiques n'est ni l'asservissement, ni le synchronisme, ni la réduction du nombre des jonctions et organes, ni la diminution des frais d'exploitation, ni l'augmentation du rendement électromagnétique des organes ; la qualité du service domine toutes les autres considérations au point qu'un système bon marché, peu coûteux d'entretien, ayant un coefficient très élevé de rendement individuel des organes doit être rejeté, s'il n'assure pas un service téléphonique parfait, c'est-à-dire la mise en communication certaine et correcte des abonnés entre eux.

Digitized by Google

M. CARLINI perd de vue que l'abonné moyen n'est pas un opérateur habile et instruit ; l'abonné moyen n'a aucune conception de ce que peuvent être l'asservissement, le synchronisme, l'alimentation, les dispositifs de jonction, la consommation et le rendement des organes.

M. CARLINI perd également de vue qu'il est abusif de conclure d'une critique, exacte en elle-même, des propriétés de l'électroaimant, que tous les systèmes utilisant des électroaimants sont mauvais : en ce qui concerne la téléphonie automatique, on peut relever comme défauts principaux de l'électroaimant : son action brusque et destructive et l'infériorité de son rendement.

Dans certains systèmes et plus particulièrement dans le système Rotary qui formera l'équipement du réseau de Paris, le premier de ces défauts est complètement éliminé, tandis que le second n'exerce qu'une influence tout à fait négligeable sur les dépenses d'exploitation ; on peut donc dire que la critique des systèmes de téléphonie automatique, telle qu'elle est présentée par M. CARLINI, ne paraît pas justifiée en pratique.

En second lieu, et sans relever les inexactitudes contenues dans l'exposé fait par M. CARLINI de la constitution et du mode de fonctionnement des organes des divers systèmes et plus particulièrement du système Rotary à commande indirecte, je voudrais rappeler l'existence de nombreux facteurs de première importance :

a) *la possibilité de construction*, qui limite la capacité des organes ; M. CARLINI n'envisage-t-il pas la création de connecteurs pouvant desservir chacun 10 000 abonnés, ou 10 000 points à 3 broches, et dont l'arc contiendrait 30 000 broches ?

b) *les nécessités d'exploitation* : les postes doivent être manœuvrés par les abonnés livrés à eux-mêmes, sans aucun contrôle et sans aucune direction ni surveillance, ces abonnés étant des individus quelconques ;

c) *la simplicité indispensable des postes d'abonnés* : ces postes occasionnent par leur nombre, des dépenses extrêmement élevées, et par leur dispersion, un entretien très difficile et très onéreux ;

d) *les exigences du trafic*, qui rendent illusoire l'extension des champs de sélection au delà de certaines limites parfaitement déterminées, mais différentes pour chaque cas particulier ;

e) *la nécessité de n'employer que des organes et dispositifs parfaite-*

Digitized by Google

ment connus et ayant subi avec succès l'épreuve d'une longue expérience en service réel ; on peut évidemment concevoir, pour tout problème, une solution s'écartant de toutes les autres solutions connues, tout autant qu'un procédé de commande directe par moteurs synchrones s'écarte des procédés par électros ; mais ce ne sera qu'un principe de base dont on ne pourra estimer la valeur réelle qu'après que ses développements auront été complètement achevés, que ses applications auront passé de l'étude théorique à la mise en pratique réelle et auront été soumis à des essais concluants.

S'il est loisible à chacun de soumettre à des essais approfondis de laboratoire, un organe ou un ensemble d'organes, on ne conçoit pas très clairement la possibilité de procéder à des essais semblables sur un bureau central automatique desservant, non seulement 10 000 postes d'abonnés, mais encore faisant partie constitutive d'un vaste réseau comme celui de Paris.

Tous ceux qui se sont attachés aux problèmes de la téléphonie automatique savent quelle extrême prudence ils exigent ; les systèmes existants n'ont pas été rencontrés tout faits et réalisés au petit bonheur par des gens qui, n'ayant que peu ou pas de connaissance des propriétés de l'électroaimant, n'avaient pas non plus la moindre connaissance de l'exploitation téléphonique.

Enfin, il me paraît indispensable de calmer les craintes exprimées par M. Carlini en ce qui concerne la durée probable et les difficultés de maintien en bon état de fonctionnement des installations automatiques : de nombreux centraux automatiques sont en service depuis des périodes variant de 12 à 20 années, sans tenir compte des plus récents, et n'ont donné lieu à aucune difficulté qui vaille d'être considérée ; dans les systèmes à commande directe, les chocs occasionnés par le fonctionnement très fréquent d'électros à action saccadée occasionnent l'usure, la déformation et le déréglage de certains éléments, défaut auquel les constructeurs s'ingénient à porter remède ; dans le système Rotary à commande indirecte et à entraînement mécanique, qui ne date que de 12 ans environ, et dans lequel toute action saccadée des électros est éliminée, des bureaux centraux importants et à trafic intense, en service continu depuis 12 ans, ne montrent encore aucune trace d'usure ni de déformation des organes, au point qu'il n'est pas encore possible de déterminer, même approximativement, quelle sera l'époque à partir de laquelle le matériel devra être considéré comme incapable de servir plus longtemps.

Digitized by Google

Quant à la complication et à la complexité des organes, dispositifs et circuits, je rends hommage aux efforts faits par M. CARLINI pour nous les exposer ; mais je dois dire que les méthodes qu'il a suivies sont loin d'être les meilleures. Tous ceux que cette question intéresse à quelque titre que ce soit auront le plus grand avantage à visiter l'Ecole des Mécaniciens et le Cours d'Automatique de l'Administration des P. T. T., installés dans les bâtiments des Services du Matériel, Boulevard Brune à Paris. Ils pourront s'y convaincre que l'enseignement théorique et pratique de toutes les variétés de téléphonie automatique est donné suivant des méthodes et des procédés rationnels, qui en permettent l'assimilation rapide et complète par des élèves sortant des établissements existants d'instruction secondaire ou professionnelle et ne possédant encore aucune initiation en téléphonie.

M. CARLINI. — Avant de répondre aux observations précédentes, je dois signaler que, pour des raisons matérielles, le chapitre de ma communication consacré à la « téléphonie automatique » n'a été publié qu'en partie et ne contient que les conclusions ; les démonstrations qui leur servaient de base paraîtront ultérieurement. C'est seulement sur l'ensemble de mon travail qu'on pourra juger de la valeur de mes arguments.

Je reprends maintenant, point par point, les critiques de M. DAMOISEAUX.

Je n'ai pas limité mon étude « aux procédés d'établissement d'une communication unique » mais aux *méthodes* de la téléphonie automatique, comme je l'ai indiqué dans le titre du chapitre. Je n'ai pas basé non plus mon travail sur des résultats expérimentaux obtenus avec un seul électro, mais avec de très nombreux appareils de cette classe ; je n'ai cité qu'un exemple pour ménager le lecteur et pour éviter les justes protestations de notre secrétaire général sur le gaspillage du papier. Je suis d'ailleurs prêt à prendre dorénavant pour base les oscillogrammes obtenus avec des électros type ROTARY.

1° *Asservissement.* — M. DAMOISEAUX et moi, nous n'employons pas la même langue quand nous parlons d'asservissement et de synchronisme. Pour ma part, j'ai défini ce que j'entends par ces termes dans une communication antérieure ; je veux bien adopter les définitions de M. DAMOISEAUX pour discuter avec lui, mais je voudrais les con-

Digitized by Google

naître. Cet exemple montre, une fois de plus, combien l'intervention de la commission du vocabulaire est nécessaire.

A mon avis, il y a un synchronisme ou un asservissement autant dans le Strowger que dans le Rotary ; il existe, dans le premier cas, entre les déplacements du disque d'appel et ceux des sélecteurs ; dans le second, entre la rotation des tambours et l'enregistreur et celle des sélecteurs. C'est d'ailleurs le synchronisme de ces mouvements qui est à la base de la téléphonie automatique ; aucun système ne pourra y échapper, car c'est lui qui permet la mise en communication avec un abonné déterminé et pas un autre.

Tout mon travail n'avait qu'un but, celui de faire remarquer qu'on s'était adressé jusqu'ici au seul électro pour obtenir ce résultat, alors que c'est la plus mauvaise des commandes à distances synchrones et que les nécessités spéciales de la téléphonie automatique ne l'imposent nullement.

Je n'ai jamais critiqué quelques secondes d'attente de l'abonné ; mais j'ai démontré que l'utilisation des électros introduisait des retards de fonctionnement qui limitaient la capacité des sélecteurs, ce qui est bien différent et infiniment plus grave.

2° *Intensité du trafic.* — Je suis tout à fait d'accord et n'ai jamais prétendu le contraire.

Cependant, en tenant compte de tout ce que dit M. Damoiseaux, il a été démontré à plusieurs reprises que l'augmentation de la capacité individuelle des divers étages de sélection, entraînait finalement une simplification des installations et une économie de montage. C'est pourquoi j'ai montré qu'il était théoriquement possible, en utilisant d'autres commandes à distance que l'électro (arrivé avec le Rotary à son maximum de capacité), de réaliser des connecteurs capables de desservir d'un coup 10 000 abonnés. L'économie qui apparaît ici saute brutalement aux yeux les moins avertis, car on remplacerait les 6 ou 7 étages de sélections libres ou numériques, nécessaires avec le Rotary, par 2 ou 3 étages seulement. A ceci M. Damoiseaux répond que des connecteurs à 10 000 voies seraient inutilisables comme présélecteurs. La réponse à cette objection me paraissait tellement évidente que je l'avais tue : je pensais, en effet, que l'utilisation de ces connecteurs à grand rendement se ferait avec des sélecteurs spéciaux d'un nombre de voies appropriées. C'est d'ailleurs ce qui se passe déjà avec le Rotary, qui utilise pour ses connecteurs à

Digitized by Google

500 voies des chercheurs et des sélecteurs de capacités entièrement différentes et infiniment plus faibles.

3° *Rendement.* — M. DAMOISEAUX justifierait difficilement par les citations de mon texte ou la sténographie de mes paroles, la thèse qu'il me prête. Je n'ai jamais dit ou écrit que « je considérais comme prépondérantes les questions de consommation de courant ». Mais j'ai démontré et constaté que les installations à base d'électros sont les seules dans lesquelles 75 pour cent de l'énergie fournie est, non pas simplement perdue, mais encore consacrée à la destruction quotidienne des appareils. Voilà qui est aussi grave que scientifiquement indiscutable. La seule excuse du Rotary en la circonstance est de partager ce résultat avec bien d'autres solutions utilisant des électros.

Conclusions. — Elles montrent combien est considérable le fossé qui nous sépare. J'estime, en effet, au contraire de M. DAMOISEAUX, que les systèmes de téléphonie automatique ont pour but le synchronisme ou l'asservissement (seule manière de choisir l'abonné demandé), la réduction du nombre des organes, la diminution des frais d'exploitation et l'augmentation du rendement, parce que si ces questions paraissent secondaires au constructeur, l'abonné les considère comme très importantes, car il en paye finalement les conséquences sous forme de tarifs élevés. La qualité du service a évidemment une importance capitale, mais je ne vois pas pourquoi cette qualité serait meilleure avec des électros qu'avec d'autres commandes à distance. Enfin, puisque M. DAMOISEAUX veut bien reconnaître exacte ma critique des propriétés de l'électro, je persiste de croire qu'avec de très mauvais outils on ne fera jamais du bon travail.

Non, je n'ai pas perdu de vue que l'abonné moyen n'est pas instruit, qu'il se moque de l'asservissement et du synchronisme, c'est pourquoi j'admets si facilement qu'en tournant son disque d'appel, il peut mettre en marche des moteurs synchrones au lieu de faire fonctionner des électros.

M. DAMOISEAUX affirme que, « dans le système Rotary qui formera l'équipement du réseau de Paris, l'action brusque et destructive de l'électro est *complètement* « *éliminée* »; je serais curieux de savoir comment on a pu obtenir un résultat qui va contre l'essence même du fonctionnement de l'électro. Si M. DAMOISEAUX est convaincu comme moi de la nécessité de cette suppression, il ne tardera pas à reconnaître que seuls les moteurs rotatifs peuvent y prétendre.

Digitized by Google

En second lieu :

a) J'ai indiqué la possibilité d'une solution permettant d'obtenir des connecteurs desservant 10 000 abonnés pour montrer qu'il existait, devant la téléphonie automatique, des méthodes fécondes négligées jusqu'ici. Je ne pouvais avoir la prétention, en une page, de fouiller une solution et de la défendre. Mais j'ai tenu à aborder la difficulté maximum (connecteur à 10 000 voies) ; une étude plus poussée, balançant les diverses conditions, conduirait peut-être à adopter une capacité plus faible, mais qui peut le plus, peut à plus forte raison le moins.

b) Je ne vois pas pourquoi seul l'électro permet une exploitation facile. Dans la solution proposée, l'abonné a deux cadrans à manœuvrer au lieu d'un seul, on pourrait facilement la modifier pour ne rien changer à ses habitudes, mais est-il donc réellement plus difficile de marquer 84 d'un coup sur deux cadrans, que 8 et 4 successivement sur un seul.

c) J'estime que le prix du poste d'abonné que je proposais, ne serait pas supérieur au poste à disque d'appel réglementaire.

d) Les exigences du trafic ne rendent pas du tout illusoire l'extension des champs de sélection. Il suffit d'approprier la capacité de chaque étage au trafic à écouler. Cette adaptation peut se faire aussi bien avec des connecteurs Rotary à 500 abonnés, qu'avec des connecteurs à 10 000.

e) Il est évident que l'expérience est le seul critérium, mais sous prétexte que le Rotary est au point, cela ne veut pas dire que ses *méthodes* sont bonnes et les autres mauvaises. Je ne vois également pas les difficultés que trouve M. DAMOISEAUX à essayer, en grand, d'autres solutions que le Rotary.

Contrairement à ce que pense M. DAMOISEAUX, j'ai toujours rendu hommage au formidable travail de mise au point qui a été fait par ceux qui ont amené la téléphonie automatique à son état actuel ; je l'ai dit verbalement devant lui et il pourra le lire dans la partie de ma conférence, dont la publication a été retardée en septembre. Mon admiration est d'autant plus grande qu'on a obtenu, à mon avis, ces résultats en partant d'une méthode mauvaise, qu'on aurait eu beaucoup moins de travail et des installations infiniment plus simples, en ne se bornant pas à l'utilisation exclusive de l'électro. En un mot, j'estime qu'on a réalisé un véritable miracle, mais que ce miracle n'était pas nécessaire.

Digitized by Google

M. DAMOISEAUX ne calme pas du tout mes craintes, en ce qui concerne la durée probable d'existence et les difficultés d'entretien des centraux automatiques à électros. Il reconnaît, en effet, que mes appréhensions sont fondées, en ce qui concerne les systèmes à commande directe ; or, comme j'ai montré dans mon travail que les systèmes à commande indirecte — comme le Rotary — ne sont en somme qu'un assemblage de deux systèmes à commande directe, on comprendra que je suis loin d'être rassuré.

Les « inexactitudes » signalées en bloc par M. DAMOISEAUX sont naturelles, car elles sont relevées par un maître de la téléphonie automatique dans le travail d'un simple élève. S'il était pour moi d'une importance quelconque qu'elles soient plus ou moins nombreuses, j'aurais trouvé quelques circonstances atténuantes dans la note de M. DAMOISEAUX car, dans le feu de la discussion, il m'y prête très souvent des opinions que je n'ai point soutenues. J'ajoute que leur importance devait être de second ordre, car on n'a pu me prendre en faute sur aucun des points capitaux de mon argumentation ; et si l'on peut discuter sur le plus ou moins d'influence des dix inconvénients des systèmes de téléphonie automatique actuels, signalés dans mon travail, aucun ne peut être mis en doute.

Ne m'occupant de ces questions que par simple délassement d'esprit et à cause de leur haut intérêt, j'aurais été très heureux de me rallier à l'avis presque unanime des électriciens. Mais comme je n'ai trouvé, ni dans la réponse orale de M. DAMOISEAUX, ni dans sa réponse écrite, aucun argument qui sape mes objections, je demeure convaincu qu'on a eu tort et qu'on a tort de se fier au *seul* électro pour réaliser la téléphonie automatique.

Je reviendrai dans une conférence ultérieure, sur l'opinion de M. DAMOISEAUX au sujet des « schémas réduits », après avoir d'ailleurs effectué la visite à laquelle il me convie.

Digitized by Google

Séance du Samedi 30 Octobre 1926.

6e SECTION.

RECHERCHES PHYSIQUES. — PHYSIOLOGIE. — APPAREILS DE MESURE.

Sommaire :

1° Discussion du rapport de M. Genkin sur la mesure du facteur de puissance d'un circuit non équilibré. — M. Stokvis : définition d'un état de déséquilibre par les coefficients de déséquilibrage : d'une part, des tensions, d'autre part des courants, p. 345. — M. Iliovici : phasemètre double électrodynamique, p. 348 — M. Pestarini : rappel d'un phasemètre pour courants triphasés, présenté par lui en 1914, p. 350. — M. Iliovici : causes d'erreur dans le phasemètre Pestarini, p. 351. — M. Genkin : observation sur l'emploi du cosinus φ, p. 352 — Réponse à M. Stokvis sur la définition et la représentation du déséquilibre électrique, p. 352.

2° Discussion du rapport de M Genkin sur la mesure indirecte de l'énergie réactive. — M. Iliovici : critique des propositions de M. Genkin, contreproposition, p. 354. — M. Genkin : rappel du transformateur compoundé, peu d'influence du 3e harmonique, p. 357.

3° Discussion du rapport de M. Jouaust sur les cellules photoélectriques. — M. Valensi : piles photoélectriques à trois électrodes, p. 357. — M. Jouaust : piles photoélectriques à grille de potassium, p. 357 — M. Toulon : le potentiel disruptif dans les cellules à hydrure de potassium, p. 359. — M. Jouaust : observations sur le fonctionnement des cellules, p. 360

4° Discussion du rapport de M. Jouaust sur les aciers spéciaux. — M. Iliovici : observations sur l'utilisation des aciers spéciaux, p. 361.

5° Discussion du rapport de M. de la Gorce sur la mesure des hautes tensions. — M. Bellon : dispositifs adoptés au Laboratoire Ampère à 1 million de volts, p. 362

Discussion des rapports de MM. les Drs Cottenot, Laquerrière et Duhem, p. 362.

Présidence de M. Liénard

Inspecteur général des Mines,
Sous Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines.

M. Genkin présente son rapport sur *la mesure du facteur de puissance d'un circuit triphasé non équilibré* (1).

M. Stokvis. — Depuis quelques années, la question du déséquilibrage électrique a attiré en France l'attention des techniciens et, principalement celle très brillante de M. Genkin.

Ce résultat est doublement heureux : il élargit nos connaissances

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens,* tome VI, 4e série, octobre 1926, n° 62, p. 1158.

Digitized by Google

théoriques sur les systèmes polyphasés et il approfondit nos connaissances pratiques sur la conduite des machines électriques, soumises à un régime quelconque.

Il est pour cela très souhaitable de s'entendre sur la définition même du déséquilibrage. Ici deux définitions s'affrontent. La première (qui date de 1914) a été préconisée par moi. C'est la théorie des coefficients de déséquilibrage. La deuxième qui est, je crois, due à M. DARRIEUS, a été donnée ici même lors d'une discussion sur une conférence que j'ai faite à notre société sur la transformation « Scott ». Elle peut être qualifiée de définition suivant la puissance fluctuante.

Je me suis élevé contre cette définition dans une lettre à la *Revue générale de l'Electricité*. Je tiens à m'expliquer brièvement ici sur le choix de la définition du déséquilibrage. Considérons la question d'abord d'un point de vue purement mathématique. Soient A, B, C, trois vecteurs, dont la somme n'est pas nécessairement nulle.

Chaque vecteur peut être représenté par trois autres, dont deux forment des systèmes symétriques, mais numérotés en sens inverse et le troisième, qui est le tiers de la somme vectorielle des trois vecteurs originaux. Pour préciser :

$$A + B + C + R = 0.$$

$$A = D_a + I_a + \frac{R}{3},$$

$$B = D_a \left| \underline{+\frac{2\pi}{3}} + I_a \right| \underline{-\frac{2\pi}{3}} + \frac{R}{3},$$

$$C = D_a \left| \underline{+2\frac{2\pi}{3}} + I_a \right| \underline{-2\frac{2\pi}{3}} + \frac{R}{3}.$$

D_a est la composante directe, I_a la composante inverse de A.

A trois vecteurs A, B, C donnés, ne correspond qu'un seul système de D, I et R et vice-versa.

Nous voyons que le vecteur $\frac{R}{3}$ ne fait que déplacer l'origine, mais n'a aucune influence sur D et I. Nous nous bornons donc au cas où $A + B + C = 0$.

Pour trouver D et I voici une construction simple que j'ai publiée (parmi d'autres antérieurement) il y a une année. Le triangle *abc* (fig. 1), représente le système [ABC]. Divisons *bc* en deux parties égales. Nous obtenons *q*. Soit *qd* perpendiculaire à *aq* et angle $qad = 30°$, alors :

$$bd = D \quad \text{et} \quad dc = I.$$

Digitized by Google

Il est évident, par cette construction, que pour tout triangle semblable à *abc*, le quotient $\frac{I}{D} = \varepsilon$ reste constant. Mais deux triangles semblables ont une égale dyssymétrie, le quotient ε est donc la vraie mesure de la dyssymétrie, la définition cherchée. En électricité, les tensions et les courants d'un système triphasé peuvent être représentés (avec les restrictions ci-dessus), par deux triangles. Pour décrire un tel système, il faut donc deux coefficients : le coefficient de déséquili-

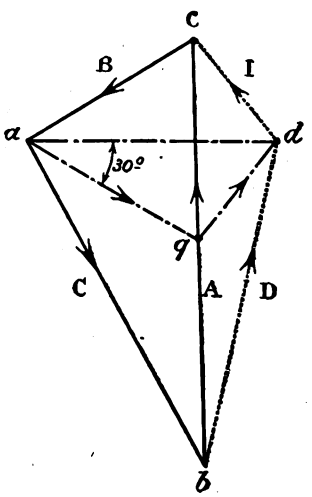


Fig. 1. — Construction des composantes directe et inverse.

brage des courants ε_i et le coefficient du déséquilibrage des tensions ε_e. Comme ces deux coefficients sont indépendants, il s'en suit qu'aucune définition à coefficient unique ne peut caractériser complètement ce système. Ces deux coefficients connus, le système est défini d'une façon unique et tous les autres cofficients peuvent s'en déduire. Ceci s'applique à la définition de la puissance fluctuante. J'ai démontré, dans une note à l'Académie des sciences, que la puissance fluctuante d'un système triphasé est :

$$e_s . i_i + e_i . i_s = w_f .$$

et la puissance constante :

$$e_s . i_s + e_i . i_i = w_c .$$

tandis que la puissance passant par le fil de terre est

$$e_n . i_n = w_n$$

Digitized by Google

Abstraction faites de w_0, nous pouvons définir le coefficient de la puissance fluctuante comme :

$$\eta = \frac{w_f}{w_e},$$

ce qui donne :

$$\eta = \frac{\varepsilon_i + \varepsilon_e}{1 + \varepsilon_i \varepsilon_e}.$$

Nous voyons par ceci deux choses :

1° le coefficient de l'énergie fluctuante n'est autre qu'une fonction simple des coefficients de déséquilibre définis par nous, et peut en être déduit immédiatement ;

2° le coefficient de l'énergie fluctuante peut devenir nul (pour $\varepsilon_i = -\varepsilon_e$) sans que le déséquilibre de fait ait cessé d'exister. La puissance fluctuante n'est donc nullement la caractéristique du déséquilibre, elle peut manquer totalement ; par contre, la connaissance simultanée des coefficients ε permet de connaître sans ambiguïté chaque état de déséquilibre, et toutes les autres données peuvent se déduire aisément de ces coefficients.

M. Iliovici. — Je dirai d'abord que le travail de M. Genkin est d'autant plus intéressant, que son phasemètre constitue une application particulière d'un principe général : l'emploi des composantes symétriques des courants et des tensions permet d'obtenir un appareil unique là où il faudrait autrement deux ou trois appareils.

Ainsi, on peut mesurer le $\cos\varphi$ dans un circuit non équilibré par l'emploi d'un phasemètre double, tandis que l'artifice de M. Genkin permet l'emploi d'un phasemètre simple.

Pourtant, il me semble intéressant d'indiquer le principe d'un phasemètre double électrodynamique, que nous avons réalisé.

Cet appareil, dont la figure 2 donne un schéma, comporte deux circuits ampéremétriques fixes I_1 et I_3 et 4 cadres voltmétriques solidaires, dont deux V_1 et V_3 se trouvent dans un même plan et sont montés suivant la méthode des deux wattmètres pour la mesure de la puissance active, tandis que les deux autres, V'_1 et V'_3, se trouvent dans un plan perpendiculaire au précédent, et sont montés suivant l'une des méthodes que nous avons préconisées pour la mesure de la puissance

Digitized by Google

réactive (1). Dans un tel phasemètre on a, théoriquement pour une position d'équilibre de l'équipage mobile, la relation :

$$P_a \cdot \sin \alpha = P_r \cos \alpha \qquad (1).$$

P_a étant la puissance active, P_r la puissance réactive et α la déviation de l'équipage. On en déduit

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P_r}{P_a} \quad \text{et} \quad \cos \alpha = \frac{P_a}{\sqrt{P_a^2 + P_r^2}} = \cos \varphi \qquad (2).$$

En réalité on a : $\cos \varphi = f(\alpha)$ et l'appareil peut toujours être gradué en $\cos \varphi$.

Ce phasemètre est plus compliqué, en tant qu'appareil et plus encombrant que celui de M. GENKIN.

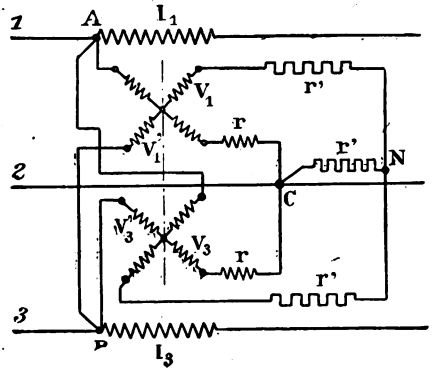


Fig. 2. – Schéma du phasemètre double électrodynamique de la Cie des Compteurs.

Par contre, ses accessoires ne comportent que cinq résistances très faciles à ajuster : on peut même se servir du rapport entre les résistances r' et r (fig. 2) pour agir utilement sur la forme de l'échelle ; de plus les indications du phasemètre sont indépendantes de la fréquence.

Par contre, le phasemètre de M. GENKIN constitue un appareil simple; comportant comme accessoires, sous la forme sous laquelle il a été réalisé, un système de transformateurs Scott et deux circuits filtrants. Ces derniers sont d'un réglage délicat en fabrication courante, et l'appareil obtenu est légèrement influencé par la fréquence.

---

(1) Voir : ILIOVICI, Définition et mesure de la puissance et de l'énergie réactives, fig. 7 (*Bulletin de la Société Française des Electriciens*, août-septembre-octobre 1924) et ILIOVICI : Mesure de la puissance et de l'énergie réactives (Semaine d'Octobre 1925), figure 7.

Digitized by Google

Le phasemètre que nous indiquons donne — comme celui de M. GENKIN — des résultats tout à fait exacts pour les tensions équilibrées, quel que soit le déséquilibrage des courants.

Dans le cas des tensions et courants non équilibrés, les indications de l'appareil sont encore exactes si on convient de prendre pour la puissance réactive la grandeur :

$$P''_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (u_{23} i_1 + u_{31} i_2 + u_{12} i_3) dt,$$

comme nous l'avons proposé (1), mais on peut voir que l'erreur de l'appareil est encore négligeable, dans les conditions pratiques, si on adopte la définition :

$$P_r = 3E_d I_d \sin \varphi_d + 3E_i I_i \sin \varphi_i,$$

indiqué par M. GENKIN, dans son rapport « La mesure indirecte de l'énergie réactive » (2).

On a en effet :

$$\cos \varphi = P_a (P_a^2 + P_r^2)^{-1/2}.$$

Or P_a est mesuré correctement par l'appareil, l'erreur ne peut donc porter que sur P_r et on a :

$$d(\cos \varphi) = - \frac{P_r P_a dP_r}{(\sqrt{P_a^2 + P_r^2})^3}.$$

Or

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{\sqrt{P_a^2 + P^2}}, \qquad \sin \varphi = \frac{P_r}{\sqrt{P_a^2 + P^2}}$$

et

$$\sqrt{P_a^2 + P^2} = P_{app} \sensiblement 3E_d I_d,$$

E_d et I_d étant les composantes directes des tensions simples et des courants par fil. On a donc :

$$d(\cos \varphi) = - \sin \varphi . \cos \varphi \frac{dP_r}{3E_d I_d}. \qquad (3)$$

Or la méthode que nous indiquons mesure :

$$P'_r = 3E_d I_d \sin \varphi_d - 3E_i I_i \sin \varphi_i ; \quad (2)$$

On a donc :

$$dP_r = P'_r - P_r = - 6E_i I_i \sin \varphi_i,$$

(1) Voir : ILIOVICI, Mesure de la puissance et de l'énergie réactives (Semaine d'Octobre 1925).

(2) Voir rapport de M. GENKIN sur « Mesure indirecte de l'énergie réactive ». *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VI, 4e série, n° 62, p. 1148.

Digitized by Google

et la formule (3) devient :

$$d(\cos\varphi) = 2 \sin\varphi . \cos\varphi \cdot \frac{E_i I_i \sin\varphi_i}{E_d I_d}.$$

Si on pose :

$$\frac{E_i}{E_d} = \varepsilon \qquad \text{et} \qquad \frac{I_i}{I_d} = \gamma,$$

on obtient :

$$d(\cos\varphi) = \varepsilon\gamma \sin\varphi_i \sin 2\varphi,$$

ou

$$d(\cos\varphi) \leqslant \varepsilon\gamma \sin 2\varphi.$$

L'erreur maxima a lieu pour $\varphi = \frac{\pi}{4}$ donc $\cos\varphi = 0{,}707$ et elle est inférieure à $\varepsilon\gamma$. Pour $\varepsilon = 0{,}05$ et $\gamma = 0{,}25$, valeurs supérieures à celles rencontrées dans la pratique, l'erreur maxima sur $\cos\varphi$ est d'environ 0,01, c'est-à-dire inférieure aux erreurs propres des appareils et d'ailleurs analogue à celle de l'appareil Genkin.

Le phasemètre dont nous parlons et celui de M. Genkin ne font pas double emploi : le premier convient comme appareil étalon à cause de la précision et de la simplicité de son réglage et de son indépendance de la fréquence ; le deuxième convient surtout comme appareil industriel, parce qu'il n'est pas plus encombrant qu'un phasemètre pour circuits équilibrés, les accessoires étant contenus dans une boîte additionnelle.

M. Pestarini. — M. Genkin d'abord et M. Iliovici, viennent de présenter des phasemètres pour courants triphasés, dont le fonctionnement n'est rigoureux que si certaines valeurs caractéristiques du réseau (telles les tensions ou la fréquence) satisfont à certaines conditions. Ces auteurs indiquent même les erreurs commises, faibles il est vrai, pour quelques cas pratiques, où les conditions limitatrices en question ne sont plus satisfaites, ce qui d'ailleurs arrive en général.

Ceci est vrai, même en se limitant à la considération des courants sinusoïdaux et en écartant la question des courants harmoniques.

J'appellerai ces erreurs éventuelles, erreurs dues à la limitation du principe ; or, chaque appareil est soumis, par l'imperfection inévitable de la construction, à des erreurs que j'appellerai de construction et qu'il faudra ajouter aux premières.

A côté de ces appareils, qu'il me soit permis de rappeler le phasemètre pour courants triphasés quelconques, présenté à la séance du 4 mars 1914.

Digitized by Google

L'erreur due à la limitation de principe est ici nulle, car le schéma donne des lectures correctes, quelles que soient les caractéristiques du réseau (tensions, courants, fréquence). Il est intéressant aussi de noter qu'on peut généraliser le schéma en question, car du schéma triphasé on passe facilement au schéma d'un réseau quelconque en appliquant le théorème sur les puissances complexes, énoncé à la même séance.

Par contre, reste l'erreur de construction due, entre autres, à la nécessité de construire une self qui décale le courant de 90° sur la tension, erreur aujourd'hui bien plus facile à éliminer avec les matériaux magnétiques récemment étudiés, qu'il y a douze ans, quand le premier appareil avait été présenté par la maison Carpentier.

M. ILIOVICI. — Le dispositif proposé par M. PESTARINI a surtout l'inconvénient de nécessiter l'emploi de bobines de réactance déphasant le courant de 90° par rapport à la tension, ce qui n'est pas réalisable. De plus, ces bobines contiendront du fer, ce qui est une nouvelle cause d'erreur.

On peut évidemment employer des artifices, permettant d'obtenir le déphasage de 90°, mais alors l'appareil sera compliqué, influencé par la fréquence et par le fer des bobines... et en définitive, on obtiendra un appareil moins précis que celui de M. GENKIN et surtout que celui que nous avons décrit.

M. GENKIN. — Je crois que pratiquement on est conduit très souvent parler du cosinus ?, lorsqu'il s'agit, soit de la tarification de l'énergie, soit des caractéristiques de fonctionnement d'une machine. Les notions de la puissance et de l'énergie réactive, bien que préférables théoriquement, sont moins facilement acceptées par les usagers que la notion du cosinus consacrée par la routine.

M. ILIOVICI. — La définition du déphasage par sa tangente est évidemment plus nette, mais on a l'habitude du cosinus.

M. GENKIN. — M. STOKVIS a présenté quelques remarques d'ordre général se rattachant à la question de déséquilibre électrique.

En ce qui concerne les diagrammes destinés à sélectionner, par un procédé géométrique, les composantes symétriques dans un système déséquilibré, il me semble que c'est affaire de pure géométrie et que tous les diagrammes, à la condition qu'ils soient également corrects, conduisent au même résultat et avec la même facilité.

Digitized by Google

Toutefois, sans vouloïr revendiquer une antériorité, je me permets de signaler un procédé graphique que j'avais indiqué dans mon étude d'un réseau filtrant polyphasé. L'avantage de cette construction est de fournir les composantes symétriques, sous forme de trois vecteurs triphasés et cette particularité correspond physiquement au fait qu'avec un tel réseau d'impédances, il devient possible d'utiliser les appareils à champ tournant.

M. Stokvis a, ensuite, soulevé de nouveau la question de la définition du déséquilibre électrique. Cette question ayant déjà été traitée l'année dernière, je ne crois pas devoïr y revenir. Du reste, en ce qui concerne mon rapport, les deux définitions sont algébriquement identiques, puisque je suppose l'équilibre des tensions.

Il me semble, en outre, qu'on perd de vue, la raison pour laquelle M. Darrieus a cherché à définir un état de déséquilibre électrique, par l'amplitude de la puissance fluctuante. A propos d'un four triphasé, pris comme exemple, il a attiré l'attention sur l'existence d'un régime qu'on peut appeler pseudo-déséquilibre accompagné d'une dyssymétrie des courant et des tensions de nature spéciale, et telle qu'un équilibre parfait peut être obtenu à l'aide d'une simple transformation statique des tensions et des courants et sans apport d'aucune puissance active ou réactive. Dans ce cas particulier, qu'on doit considérer, physiquement, comme régime d'équilibre latent, les coefficients de M. Stokvis ne sont évidemment pas applicables.

Par contre, il est vrai que dans de très nombreux problèmes qui ne supposent pas l'existence simultanée de déséquilibre, aussi bien des tensions que des courants, les coefficients de M. Stokvis sont d'un emploi commode. Toutefois, il convient de noter qu'ils sont de nature purement algébrique, tandis que la définition de M. Darrieus est basée sur les propriétés physiques du régime de déséquilibre.

M. Stokvis. — Lorsque les lampes à 110 V claquent sur une phase portée à 130 V, il paraît difficile d'admettre qu'il n'y a pas déséquilibre.

M. Genkin. — Ce sont des phénomènes accessoires qu'un déséquilibre des tensions entraîne avec lui, de même que l'harmonique trois qui accompagne quelquefois le déséquilibre des courants. Cependant un déséquilibre des courants peut subsister en absence de tout harmonique, ce qui a lieu, par exemple, dans le cas d'un alternateur monophasé convenablement construit.

Digitized by Google

L'harmonique trois peut être supprimé par l'action d'un amortisseur, sans que le déséquilibre lui-même soit modifié en quoi que ce soit.

M. GENKIN, présente son rapport sur *la mesure indirecte de l'énergie réactive* (1).

M. ILIOVICI. — Je ne veux pas discuter ce que M. GENKIN vient de dire, mais ce qui figure dans son rapport, lequel au point de vue théorique, est très intéressant et expose des méthodes très élégantes ; toutefois les conclusions en sont trop pessimistes.

D'abord une remarque théorique. Dans les compteurs d'énergie réactive que nous avons imaginés et qui sont réalisés par la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs, l'angle, que M. GENKIN désigne par ψ, est de 90°. Dans ce cas, l'erreur que l'on trouve en appliquant la méthode de M. GENKIN peut être écrite sous la forme :

$$\varepsilon_i = \frac{2P_{ri}}{P_{rd}} \quad (1),$$

$P_{ri} = 3E_iI_i \sin \varphi_i$, étant la puissance réactive inverse et $P_{rd} = 3E_dI_d \sin \varphi_d$, la puissance réactive directe. M. GENKIN remplace P_{ri} par $3E_iI_i$, il trouve donc une limite supérieure de l'erreur — en admettant que sa méthode soit justifiée, ce dont nous nous occuperons dans la suite.

Mais la question est ailleurs : Les compteurs d'énergie réactive ne sont utilisés que dans les circuits comportant surtout des moteurs, dont le cos φ peut être faible. Or, les circuits des moteurs étant pratiquement équilibrés, le déséquilibrage des courants dans le circuit total n'atteindra sûrement pas la valeur $\mu = 0{,}3$ adoptée par M. GENKIN. Ce degré de déséquilibrage correspond, en effet, au cas où le courant dans l'une des phases étant de 100 A, les courants dans les deux autres, supposés égaux, seraient de 70 A environ ; ou encore 90 A dans l'une et 60 dans l'autre — ce qui est très loin des déséquilibrages qu'on peut rencontrer dans les circuits comportant surtout des moteurs.

De même, le degré de déséquilibrage $\varepsilon = 0{,}05$ pour les tensions, qui correspond, par exemple, aux tensions 100, 95 et 90 V dans les trois phases, paraît aussi exagéré.

---

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VI, 4e série, n° 62, page 1148.

Digitized by Google

Si on adopte les valeurs $\varepsilon = 0{,}025$ et $\mu = 0{,}2$, qui sont déjà assez élevées, si d'autre part on prend $\sin \varphi = 0{,}7$, on obtient pour η une valeur de l'ordre de 1,5 pour cent.

M. GENKIN fait remarquer que le plus souvent on fait payer l'énergie correspondant à la puissance complexe : $P_a + kP_r$, et il arrive pour l'erreur sur cette puissance, seule intéressante, à la formule :

$$\eta = \frac{2k\varepsilon\mu}{\cos\varphi + k\sin\varphi}, \qquad (2)$$

mais, dans l'application numérique, il prend $k = 1$. Or, pratiquement, on ne dépasse jamais la valeur $k = 0{,}3$ que nous avions proposée en 1917-18 (1). Dans ce cas on obtient :

$$\eta = \frac{0{,}6\varepsilon\mu}{\cos\varphi + 0{,}3\sin\varphi}. \qquad (3)$$

Pour $\varepsilon = 0{,}025$, $\mu = 0{,}2$ et $\cos\varphi \leqq \sin\varphi \leqq 0{,}7$ on obtient : $\eta \leqq 0{,}004$ ou 0,4 pour cent, ce qui est tout à fait négligeable. Même avec les valeur de ε et μ adoptées par M. GENKIN, on trouve pour η une valeur inférieure à 1 pour cent. Pour les $\cos\varphi$ supérieurs, l'erreur est encore plus faible.

Les conclusions de M. GENKIN ne correspondent donc pas à des cas pratiques.

Nous avons admis, dans ce qui précède, que le point de vue théorique de M. GENKIN était exact. En réalité, M. GENKIN suppose implicitement que les tensions et les courants sont sinusoïdaux. Or, si l'hypothèse de la forme sinusoïdale des courbes est suffisante pour l'étude des machines, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de mesures et en particulier de la mesure de l'énergie.

On peut réaliser un grand nombre de types de compteurs qui mesurent correctement l'énergie active ou réactive pour des tensions et des courants sinusoïdaux. Avec des courbes non sinusoïdales, ces appareils peuvent donner des résultats très différents. Lequel est exact ? Pour l'énergie active, la réponse est facile, parce que cette énergie est définie dans le cas le plus général et que la puissance qui lui correspond peut être mesurée avec une grande précision à l'aide de wattmètres étalons électrodynamiques.

---

(1) Voir : ILIOVICI : Etude de la tarification de l'énergie électrique... (*Bulletin de la Société Française des Electriciens*, mai 1918, page 231). Dans une circulaire du ministère des Travaux Publics, qui doit paraître incessamment, on recommande paraît-il la valeur $k = 0{,}2$.

Digitized by Google

Mais il n'en est pas de même pour l'énergie réactive. Il existe bien des compteurs que M. GENKIN désigne sous le nom de « compteurs en sinus ». Nous en avons proposé nous-même un en 1917-18 (1) ; ce compteur mesure une grandeur bien définie, quelle que soit la forme de la courbe de courant ou de tension, mais il n'a pas été adopté pratiquement, parce que ses indications dépendent de la fréquence. Les autres compteurs « sinus », employés surtout à Paris, sont plus compliqués, et on ne peut pas dire ce qu'ils mesurent avec des courbes non sinusoïdales.

Les compteurs « sinus » ne sont pas influencés par le déséquilibrage ; mais il me semble dangereux d'employer des appareils *dont on ne sait pas ce qu'ils mesurent dès que les courants ou les tensions sont déformées*. De plus, l'étalonnage de ces appareils est compliqué et peu précis.

C'est pourquoi nous avons proposé, pour les réseaux triphasés, des compteurs et des dispositifs, qui mesurent l'énergie correspondant à la puissance définie par :

$$(4) \qquad P''_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (u_{23} i_1 + u_{31} i_2 + u_{12} i_3) dt \ (2).$$

Avec les courbes sinusoïdales et les tensions équilibrées, P''_r se confond avec la puissance réactive, telle qu'on la définit habituellement dans ces cas ; avec les courbes sinusoïdales et les déséquilibrages pratiquement possibles, cette grandeur diffère de celle définie par M. GENKIN, d'une quantité qui ne dépasse pas 1,5 pour cent, comme on l'a vu plus haut. Mais les considérations de M. GENKIN s'arrêtent forcément là, tandis que *la formule* (4) *définit une grandeur qui a un sens précis dans tous les cas*, et qu'on peut mesurer à l'aide de wattmètres étalons électrodynamiques, les mêmes qui servent à la mesure de la puissance active.

De plus, l'énergie correspondant à cette puissance se mesure à l'aide de compteurs comportant les mêmes éléments que ceux d'énergie active, ce qui est un grand avantage au point de vue de la fabrication en série pour la précision des appareils.

C'est pourquoi nous avons proposé la mesure de cette grandeur (4) et de l'énergie qui lui correspond, pour tenir compte du cos φ des installations.

---

(1) Voir ILIOVICI ; *op. cit.*, fig. 3
(2) Voir ILIOVICI : Mesure de la puissance... (Semaine d'Octobre 1925) formule (5).

Digitized by Google

Cette façon de voir a été adoptée par des électriciens éminents (1) et les compteurs et appareils que nous avons réalisés sur la base de ces idées se répandent de plus en plus.

UN MEMBRE. — Je ne suis pas partisan de mesurer la puissance réactive. Mais cette méthode s'est déjà beaucoup répandue, ce qui oblige les constructeurs d'appareils de mesure à inventer des appareils pour mesurer une quantité qui n'est pas encore définie.

Que cherche d'ailleurs le fournisseur d'énergie ? A faire payer un supplément quand le cosinus φ diminue, que le courant soit équilibré ou non, sinusoïdal ou non.

M. LE PRÉSIDENT. — C'est une question de rédaction de cahier des charges, qui sort de notre compétence.

M. GENKIN. — Je constate que je suis bien d'accord avec M. ILIOVICI pour admettre que les compteurs basés sur l'équilibre des tensions sont suffisants dans tous les cas pratiques.

Je terminerai par une remarque au sujet des harmoniques. Si l'on suppose la tension sinusoïdale, l'expression de la puissance ne contient que le terme de l'onde fondamentale. Or, l'hypothèse d'une tension sinusoïdale se vérifie dans la pratique.

A ce propos, on peut se souvenir du transformateur d'intensité compoundé, dont le succès semble être basé sur le bien fondé de cette hypothèse. En effet, dans cet appareil, le courant magnétisant n'est pas négligeable. Toutefois il est très déformé et son influence devient très faible dans la mesure de la puissance à la condition que la tension soit sinusoïdale.

Je voudrais revenir un instant sur la question du troisième harmonique. Il me semble que dans la pratique on ne s'en occupe guère.

Ainsi, il existe, depuis certainement plus de 15 ans, en Amérique, une installation comportant des alternateurs diphasés de 18 000 kVA, environ, construits spécialement en vue de permettre un débit monophasé de la moitié charge de chaque machine.

Le fonctionnement de cette installation n'a donné lieu à aucune observation malgré le déséquilibre du débit.

---

(1) Voir MAUDUIT : *Installations Electriques*, tome II, page 1075 (Ed. DUNOD).

Digitized by Google

M. JOUAUST présente son rapport sur *les cellules photo-électriques* (1).

M. VALENSI. — M. JOUAUST a mentionné les piles photoélectriques du genre de la pile de BECQUEREL et a indiqué qu'elles avaient une certaine inertie de fonctionnement. Je voudrais préciser que ces piles ont, en effet, une certaine inertie de fonctionnement comparable à celle de l'œil, ce qui peut être considéré comme avantageux au point de vue de leur utilisation en photométrie.

Il y a, de M. YVES, un mémoire intéressant où il fait une théorie de la vision intermittente en assimilant l'œil à une pile photoélectrique du genre des piles de BECQUEREL. Je désirerais signaler à ce sujet que, avec M. AUDUBERT, nous avons ajouté à la pile phétoélectrique de BECQUEREL une troisième électrode destinée à faciliter l'émission photo-électrique de l'électrode éclairée et nous avons obtenu ainsi une amplification très importante de l'effet photo-électrique.

Pour vous donner une idée de l'ordre de grandeur de l'effet constaté, je peux dire qu'avec une allumette on obtenait une déviation de toute l'échelle d'un galvanomètre Chauvin et Arnoux. C'est une chose très simple à réaliser. On prend un récipient à une face transparente et contenant une solution de sulfate de potassium et deux électrodes de cuivre oxydé. On met en regard de l'électrode éclairée, à proximité de cette électrode et séparée d'elle par un petit cadre de mica, une grille. Entre cette grille et l'électrode éclairée, on applique un potentiel de 1 V environ et on recueille le courant photoélectrique entre l'électrode éclairée et l'électrode non éclairée. Il faudrait savoir si des piles comme celles-là se comportent tout à fait comme l'œil en photométrie ; s'il en était ainsi, elles pourraient être assez intéressantes, car les cellules photo-électriques ordinaires (au potassium, par exemple) qu'on emploie actuellement, ne donnent que des courants extrêmement faibles et doivent être associées à des amplificateurs.

M. JOUAUST. — Le seul inconvénient des piles photo-électriques est leur extrême sensibilité.

Je rappelle que l'on a utilisé comme grille un dépôt de potassium.

M. TOULON. — Si les applications industrielles des cellules photoélectriques sont restées jusqu'ici assez peu nombreuses, c'est sans

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VI, 4e série, n° 62, Octobre 1926, page 1167.

Digitized by Google

doute en grande partie à cause de la très faible valeur des courants qu'elles permettent d'obtenir. Pour utiliser une énergie aussi faible, il est nécessaire de faire appel à des appareils de mesure très sensibles ou à des relais très délicats, à moins d'employer des amplificateurs relativement compliqués.

Les cellules à l'hydrure de potassium dont l'usage commence actuellement à se répandre, sont remplies généralement d'argon à la pression de 0,23 mm de mercure. En appliquant une différence de potentiel convenable entre les électrodes (généralement 100 à 150 V suivant les cellules, il est possible d'augmenter très considérablement (environ 50 fois) le courant photo-électrique secondaire. On attribue ce fait à l'ionisation intense qui résulte du choc, contre les molécules gazeuses, des électrons libérés par la couche sensible. Pour un flux lumineux donné, la loi qui lie l'intensité du courant recueilli à la tension appliquée aux bornes des électrodes est représentée par une courbe à allure hyperbolique. Il existe, pour chaque cellule, une valeur maximum de la tension au delà de laquelle le courant augmente énormément, et la cellule s'illumine. Nous l'appelons le potentiel disruptif. Il est caractérisé, en effet, par une véritable et brusque explosion.

Lorsque la cellule s'est illuminée, il est nécessaire de couper extérieurement le circuit pour faire cesser le courant dans l'ampoule, ou tout au moins de réduire très notablement (de 40 V par exemple, la tension d'excitation). Les observations qui vont suivre ont été faites en collaboration avec M. Dunoyer à la Société de Recherches et de Perfectionnements industriels.

Nous avons étudié la courbe qui lie le courant photo-électrique à la tension d'excitation au voisinage du potentiel disruptif.

Pour un flux lumineux de l'ordre de 0,01 lumen (1 bougie à 50 cm) le potentiel disruptif sera par exemple de 160 V, alors qu'il ne sera plus que de 155 V pour 1 lumen, et tombera à 120 V pour 10 000 lumens (éclat lumineux du soleil). La proportionnalité du courant à la lumière ne se vérifie donc plus pour des valeurs voisines du potentiel disruptif.

La valeur du courant qui apparaît pendant l'illumination de la cellule est de l'ordre de 100 fois celui que l'on recueille généralement. Sa valeur est cependant finie, en sorte que la cellule n'est pas instable, même en l'absence de résistance extérieure.

Ce courant semble varier dans le même sens que l'éclairement.

Digitized by Google

Toutefois, certaines cellules avaient une résistance intérieure extrêmement faible. D'autre part, la couche d'hydrure de potassium n'est généralement pas altérée par l'illumination de la cellule ; le potentiel disruptif et la sensibilité peuvent seulement légèrement varier après l'illumination.

Dans beaucoup d'applications industrielles, on n'a besoin que de noter l'époque de l'apparition de la lumière sans connaître exactement sa valeur. Souvent, son ordre de grandeur suffit. La cellule photo-électrique peut être utilisée, dans ce cas, en utilisant un potentiel accélérateur convenablement choisi, de façon à dépasser dans certaines conditions la valeur du potentiel disruptif. La lumière alors y déclanche l'explosion et l'illumination, et les courants recueillis peuvent alors atteindre des valeurs de l'ordre de plusieurs centièmes d'ampères, donc d'un relayage très facile, tandis que les courants recueillis sans cet artifice ne dépasseraient pas quelques microampères (0,5 milliampères en plein soleil) ; avec les relais à arc, nous avons pu même actionner directement la gaine sans autre accessoire et déclancher des courants de l'ordre de 30 A.

Pour supprimer l'illumination, il est nécessaire d'arrêter le courant ; on peut le faire au moyen d'un interrupteur commandé par le relais, mais une solution beaucoup plus pratique consiste à alimenter la cellule en courant alternatif. A chaque alternance du courant, l'illumination disparaît et elle n'apparaîtra à l'alternance suivante que si le flux lumineux dépasse la valeur critique. Le courant utilisé est du courant continu. Il est facile d'imaginer une suite d'applications intéressantes sur lesquelles il m'est impossible de m'étendre.

Ce nouvel emploi des cellules apparaîtra à beaucoup d'entre vous un peu grossier, mais il me paraît susceptible de rendre pratiquement des services intéressants.

M. Jouaust. — Je ne crois pas qu'il faille admettre la proportionnalité du courant photo-électrique à l'éclairement, du moins comme une chose rigoureuse, surtout, par exemple, lorsqu'on emploie la cellule en photométrie stellaire. Les courants étaient excessivement faibles, on est forcé d'utiliser des potentiels accélérateurs très voisins de la tension critique.

Dans ces conditions, la moindre variation de la tension de la pile a une grosse importance sur l'intensité du courant et il est difficile d'obtenir avec les piles une tension rigoureusement constante. Aussi

Digitized by Google

est-il bon, comme le général FERRIÉ et moi l'avons fait dans un appareil pour la photométrie stellaire ; d'utiliser un dispositif d'étalonnement.

J'ai pu constater, comme l'a indiqué M. TOULON, que lorsque le potentiel accélérateur était très voisin de la tension critique, une décharge lumineuse s'amorçait sous l'influence d'une illumination suffisamment intense, un courant important traversant alors la cellule.

Dans bien des cas, cette production de lueur semble sans grand inconvénient pour la cellule, mais il m'est arrivé d'en mettre ainsi une hors de service et j'hésiterais à recommander le mode d'emploi que préconise M. TOULON.

M. JOUAUST présente son rapport sur les *aciers spéciaux* (1).

M. le Président remercie M. JOUAUST des renseignements qu'il a apportés sur les nouveaux produits magnétiques qui permettent de résoudre certains problèmes techniques jusque là insolubles. Il serait heureux que les constructeurs nous fassent maintenant connaître les résultats qu'ils ont atteints ou qu'ils vont pouvoir atteindre par l'utilisation de ces aciers spéciaux.

M. ILIOVICI. — J'ai eu l'occasion d'essayer des aciers japonais sous forme d'aimants à faible entrefer. J'ai constaté une force coercitive beaucoup plus grande, mais une rémanence beaucoup plus forte, presque dans le rapport de 1 à 2 avec celle des aciers au tungstène, ce qui n'est pas tout à fait d'accord avec les résultats indiqués par M. JOUAUST.

D'une façon générale, les aciers au cobalt paraissent intéressants pour le freinage dans les compteurs ou les relais à cause de leur grande rémanence, dans les conditions qu'on rencontre dans ces cas, ce qui permet un amortissement plus grand qu'avec les aimants au tungstène.

D'un autre côté, à cause de la grande force coercitive de l'acier au cobalt, on arrive à faire des aimants courts et qui se comportent très bien.

---

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VI, 4e série, n° 62, octobre 1926, page 1175.

Digitized by Google

L'inconvénient principal de cet acier est son prix élevé. On peut l'employer dans les appareils spéciaux, mais pour les compteurs il est trop cher. Je crois, d'autre part, qu'on arrive difficilement à une fabrication homogène.

En ce qui concerne le permalloy nous n'avons pas pu l'essayer, car, à ma connaissance, il n'est pas possible de se le procurer en France, en quantité industrielle.

M. LE PRÉSIDENT. — Il semble qu'il serait tout indiqué pour les appareils électro-magnétiques.

M. ILIOVICI. — Les substances très perméables seraient intéressantes, en particulier, pour les transformateurs de courant où le fer travaille à de très faibles inductions, mais on ne peut pas s'en procurer.

Il existe en France des brevets concernant des substances analogues au permalloy et contenant du chrome, du fer et du nickel. On prétend que ces substances ont une perméabilité équivalente au permalloy, mais les substances que nous avons pu essayer jusqu'à présent ont des perméabilités, aux faibles inductions, beaucoup plus faibles que celles indiquées pour le permalloy.

M. DE LA GORCE présente son rapport sur *la mesure des hautes tensions* (1).

M. BELLON. — La méthode des mesures des très hautes tensions au moyen du courant de charge d'un condensateur de capacité connue est appliquée au Laboratoire AMPÈRE depuis 2 ans et donne des résultats très satisfaisants. Cette méthode présente, comme le dit M. DE LA GORCE, deux gros avantages sur la méthode de l'éclateur à sphères.

C'est d'abord de donner des résultats indépendants des conditions atmosphériques : température, pression et surtout état d'ionisation de l'air. L'influence de la densité de l'air peut être facilement corrigée, mais aucune formule ne permet de tenir compte du degré d'ionisation de l'air dans la méthode de l'éclateur à sphères, bien que l'importance de ce facteur soit considérable.

Le second avantage est de pouvoir lire la tension à tout moment.

---

(1) *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, tome VI, 4e série, n° 62, octobre 1926, page 1182.

Digitized by Google

La lecture se fait sur un milliampèremètre qui peut être gradué en kilovolts.

Non seulement la méthode de l'éclateur à sphères, donne des résultats variables avec les conditions atmosphériques, mais sa précision dépend beaucoup de la façon dont les sphères sont polies et usinées, car, dès que des effluves commencent à se produire entre deux corps portés à très haute tension, l'arc s'amorce peu après.

Quel est le degré d'approximation que l'on peut obtenir dans la mesure des hautes tensions ?

Il existe bien des électromètres permettant de mesurer les tensions de l'ordre de grandeur de 150 000 V, avec une grande précision, mais aucun de ces appareils n'a été construit pour des tensions de l'ordre de grandeur d'un million de volts. Il semble que pour ces tensions, on ne puisse pas avoir une précision supérieure à 3 ou 4 pour cent.

Dans la méthode de mesure au moyen du condensateur, il y a plusieurs sources d'erreur :

C'est d'abord l'erreur commise lors de la mesure de la capacité du condensateur formé par la sphère et la calotte.

Au Laboratoire Ampère nous nous sommes servi de condensateurs auxiliaires étalonnés, d'une part au Laboratoire Central d'Electricité, et d'autre part, par la Maison Haefely au moyen d'un condensateur sans pertes construit pour 300 000 volts.

La seconde source d'erreur, due à la fréquence, peut être facilement corrigée.

Il y a enfin l'erreur due à la forme de la courbe qui diffère toujours de 2 ou 3 pour cent de la sinusoïde.

Les rapports de MM. les Docteurs Cottenot, Laquerrière et Duhem ont été discutés au cours d'une séance commune, tenue avec la *Société française de Radiologie et d'Electrothérapie*, le samedi 30 octobre 1927 à 21 heures.

Cette discussion a été publiée dans le Bulletin de la Société de Radiologie.

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

Prix triennal George Montefiore.

L'Association des Ingénieurs Electriciens sortis de l'Institut Electrotechnique Montefiore, nous prie de publier l'information suivante :

Article I. — Un prix dont le montant est constitué par les intérêts accumulés d'un capital de 150 000 francs de rente belge à 3 p. c., est décerné tous les trois ans, à la suite d'un concours international, au meilleur travail original présenté sur l'avancement scientifique et sur les progrès dans les applications techniques de l'électricité dans tous les domaines, à l'exclusion des ouvrages de vulgarisation ou de simple compilation.

. . . . . .

Article III. —Sont seuls admis au concours les travaux présentés pendant les trois années qui précèdent la réunion du jury. Ils doivent être rédigés en français ou en anglais et peuvent être imprimés ou manuscrits. Toutefois, les manuscrits doivent être dactylographiés et, dans tous les cas, le jury peut en décider l'impression.

Article IV. — Le jury est formé de dix ingénieurs électriciens, dont cinq belges et cinq étrangers, sous la présidence du professeur-directeur de l'Institut électrotechnique Montefiore, lequel est de droit un des délégués belges.

Sauf les exceptions stipulées par le fondateur, ceux-ci ne peuvent être choisis en dehors des porteurs du diplôme de l'Institut électrotechnique Montefiore.

Article V. — Par une majorité de quatre cinquièmes dans chacune des deux sections, étrangers et nationaux (lesquels doivent, à cet effet, voter séparément), le prix peut être exceptionnellement divisé.

Digitized by Google

A la même majorité, le jury peut accorder un tiers du disponible, au maximum, pour une découverte capitale, à une personne n'ayant pas pris part au concours ou à un travail qui, sans rentrer complètement dans le programme, montre une idée neuve pouvant avoir des développements importants dans le domaine de l'électricité.

. . . . . .

Article VII. — Les travaux dactylographiés peuvent être signés ou anonymes. Est réputé anonyme tout travail qui n'est pas revêtu de la signature lisible et de l'adresse complète de l'auteur.

Les travaux anonymes doivent porter une devise, répétée à l'extérieur d'un pli cacheté joint à l'envoi ; à l'intérieur de ce pli, le nom, le prénom, la signature et le domicile de l'auteur seront écrits lisiblement.

Article VIII. — Tous les travaux, qu'ils soient imprimés ou dactylographiés, sont à produire en douze exemplaires ; ils doivent être adressés franco à M. le secrétaire-archiviste de la *Fondation George Montefiore*, à l'hôtel de l'Association, rue Saint-Gilles, 31, Liége (Belgique).

Le secrétaire-archiviste accuse réception des envois aux auteurs ou expéditeurs qui se sont fait connaître.

Article IX. — Les travaux dont le jury a décidé l'impression sont publiés au *Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore*. De cette publication ne résulte pour les auteurs ni charge de frais, ni ouverture à leur profit de droits quelconques. Il leur est néanmoins attribué, à titre gracieux, vingt-cinq tirés à part.

Pour cette publication, les textes anglais peuvent être traduits en français par les soins de l'Association.

Concours de 1926 reporté exceptionnellement à 1927.

Le montant du prix à décerner est de vingt mille cinq cents francs.

La date extrême pour la réception à soumettre au jury est fixée au 30 avril 1927.

Les travaux présentés porteront en tête du texte et d'une manière bien apparente la mention : « Travail soumis au concours de la Fondation George Montefiore, session de 1923-1926 ».

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ [1]

Génératrices de courants et moteurs électriques. — Introduction à l'étude de l'électrotechnique appliquée. — Cours professé à l'Institut Electrotechnique de l'Université de Nancy, par C. GUTTON, professeur à la Faculté des sciences de Nancy. Troisième édition revue et corrigée. — Paris, Dunod 1927 ; un vol. broché $25^{cm} \times 16^{cm}$, de VI-296 pages, avec 218 figures. (Don de l'éditeur).

TRACTION

Traction électrique: — Manuel sur la théorie et l'application de la traction électrique aux chemins de fer, par Dr Ing. E.-E. SEEFEHLNER (Vienne). Avec un chapitre sur les chemins de fer à crémaillère et les chemins de fer funiculaires, par Ing. H.-H. PETER (Zurich). — Traduit sur la deuxième édition allemande par R. WEILLER, ancien élève de l'Ecole polytechnique de Zurich. — Paris et Liége, Librairie polytechnique Ch. Béranger, 1926 ; un vol. relié toile $27^{cm},5 \times 22^{cm},5$, de XIII-694 pages, avec 751 figures. (Don de l'éditeur).

MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURES

Les Essais de machines, par R. ROYDS, directeur du Département des machines motrices au Collège technique de Dundee. Traduit de l'anglais par Benjamin GIRAUD, ingénieur E. S. E. — Paris, Dunod. 1925 ; un vol broché $28^{cm} \times 19^{cm},5$, de 410 pages et 193 figures. (Don de l'éditeur).

DIVERS

Manuel de la classification décimale à l'usage des ingénieurs électriciens, établi d'après le manuel du répertoire bibliographique universel de l'Institut international de bibliographie, par E BEINET, ingénieur E. S. E. — Préface de Paul OTLET, directeur de l'Institut international de bibliographie (Bruxelles). — Paris, *Revue générale de l'Electricité*, 1926 ; un vol. broché $23^{cm} \times 14^{cm}$, de X-130 pages. (Don de l'éditeur).

CONGRÈS. — EXPOSITIONS. — SOCIÉTÉS. — SYNDICATS. — ANNUAIRES, etc.

Union des Syndicats de l'Électricité. Annuaire 1926. — Construction du matériel électrique. Production et distribution de l'énergie électrique. Radio-électricité. — Paris, 25, boulevard Malesherbes, 1927 ; un volume $21^{cm} \times 14^{cm}$, de 1670 pages, avec figures. (Don de l'Union des Syndicats).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Electriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours sauf le Dimanche.

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Production et utilisation mécanique de l'électricité

Génératrices de courants et moteurs électriques. — Introduction à l'étude de l'électrotechnique appliquée, par Gutton. — Dunod, Paris 1927, 1 vol. broché 25 × 16cm de VI-296 pages avec 218 figures.

Cet ouvrage, qui est la reproduction des leçons professées par l'auteur à l'Institut Electrotechnique de l'Université de Nancy, constitue un excellent exposé des principes de fonctionnement des machines électriques. Les questions y sont exposées simplement, de façon à faire, le plus possible, saisir au lecteur le sens physique des phénomènes. Sans abuser du calcul, l'auteur, qui s'adresse à un milieu de formation scientifique élevée, développe néanmoins les questions suivant des méthodes rigoureuses, mettant le lecteur à même d'aborder ensuite le détail du calcul des machines dans les ouvrages techniques spéciaux. Le fait que cet ouvrage en est à sa 3e édition nous dispense d'ailleurs de plus amples éloges.

Canalisations. — Distribution générale. — Traction.

Traction électrique. — Manuel sur la théorie et l'application de la traction électrique aux chemins de fer, par Dr Ing E.-E. Seefehlner (Vienne). Avec un chapitre sur les chemins de fer à crémaillère et funiculaires, par Ing. H.-A. Peter, de Zurich. Traduit sur la 2e édition allemande, par R. Weiller, ancien élève de l'Ecole polytechnique de Zurich. — Paris et Liége ; 1 vol. 694 pages Librairie polytechnique Ch. Béranger, 1926.

Cet ouvrage est divisé en 6 chapitres.

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur la traction électrique, ses avantages ou inconvénients. Il passe en revue les différents modes de traction électrique et les exploitations qui en sont pourvues.

Le 2e chapitre, sous le titre « Production du courant » traite à la fois de la production de l'énergie électrique et de sa transformation aux fins d'utilisation sur les locomotives ou automotrices, des redresseurs à vapeur de mercure, des stations de conversion automatiques, des convertisseurs de fréquence, des appareils de protection, etc...

Le 3e chapitre est consacré aux canalisations. L'auteur ne traite pas la question des lignes de transmission et d'alimentation, estimant qu'elles n'ont qu'un rapport indirect avec l'installation de traction proprement dite. Mais, sous le titre « Lignes de travail » (lignes de contact), il étudie les calculs d'établissement et passe en revue différentes dispositions adoptées pour les lignes de contact (lignes simples, lignes à suspension caténaire, rails de prise de courant, etc...).

Le 4e chapitre traite longuement du matériel roulant. Après l'exposé d'un certain nombre de considérations classiques sur les résistances de traction,

Digitized by Google

l'auteur décrit successivement les moteurs, les différents dispositifs de freins (freins électriques, freins solénoïdes, freins magnétiques sur rails, freins à récupération), les transmissions par engrenages et par bielles, les régulateurs pour courant continu et pour courant alternatif, les organes de captation de courant, les règles à suivre dans la construction des voitures motrices de tramways, des locomotives, des voitures à moteur thermique et transmission électrique, enfin des voitures à accumulateurs.

Le 5e chapitre est le complément du chapitre IV et précise les conditions particulières concernant les chemins de fer à crémaillère et les chemins de fer funiculaires.

Le 6e chapitre expose rapidement quelques considérations économiques et financières, relativement aux conditions de substitution de la traction électrique aux autres modes de traction, aux conditions d'exploitation à réaliser, étant donné le caractère habituel du trafic, à la durée normale de certains organes d'usure en traction électrique.

Notons, enfin, une intéressante annexe sur la monographie et les abaques facilitant la lecture du livre dans les chapitres où sont traitées les questions théoriques.

Le lecteur puisera dans cet ouvrage bien ordonné et très documenté les enseignements les plus utiles sur la traction électrique, bien que l'auteur ait omis de mentionner un certain nombre de réalisations intéressantes, fruit d'études faites dans d'autres pays que ceux de l'Europe Centrale.

Transmission par ondes

Contributions théoriques et pratiques à la technique des communications à longue distance. — Publiées par la Société d'études pour liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance. 1921-1926 — Paris, *Les Presses Universitaires de France 1926 ;* un volume broché $27^{cm} \times 22^{cm}$, de 223 pages, avec figures.

La S. E. L. T. a rassemblé en un beau volume une série d'articles publiés dans différentes revues techniques par ses collaborateurs, notamment MM. Cahen, Carvallo, Ravut, Renault, Dunand, Marchay. Ces articles se rapportent aux problèmes difficiles posés à l'occasion de la réalisation de câbles téléphoniques à longue distance satisfaisant aux exigences actuelles de l'exploitation. Ils renferment un certain nombre de résultats nouveaux au sujet de l'emploi du pont de Wheatstone en courant alternatif, des caractéristiques électriques des lignes de transmission, de l'établissement de tranformateurs téléphoniques, de la définition et de l'étude de la diaphonie

Des indications sont données sur la spécification des câbles établis par la S. E. L. T. et sur les conditions de pose de ces câbles.

Une mention spéciale doit être faite au premier mémoire technique contenu dans ce volume : c'est une étude inédite de M. Lévy, Professeur à l'Ecole Polytechnique, au sujet de l'équation des télégraphistes. Examinant successivement les différentes méthodes traditionnelles utilisées pour l'intégration de cette équation, ce savant fait ressortir comment chacune de ces méthodes conduit simplement à des notions importantes qui, mises en œuvre simultanément, permettent d'acquérir assez facilement une vue d'ensemble sur la solution du problème analytique qui se présente lorsque l'on veut appliquer les résultats du calcul à l'étude de la propagation des courants électriques sur les lignes téléphoniques. Cet exposé critique des méthodes fait également ressortir quelle est la méthode qu'il est préférable d'employer lorsque l'on se propose de résoudre un problème bien déterminé : il montre notamment le parti que l'on peut tirer du calcul symbolique (Heaviside), à condition de prendre à l'occasion quelques précautions nécessaires.

Congrès. — Expositions. — Annexes

Union des Syndicats de l'Electricité. — Annuaire 1926 ; 14×22^{cm}, 1669 pages. — Paris, 25, boulevard Malesherbes ; don de l'Union des Syndicats.

Cette nouvelle édition comprend, dans une 1re partie, les renseignements ordi-

Digitized by Google

naires mis à jour sur l'Union, composition des 3 groupes de syndicats qui en font partie, fonctionnement du Bureau, du Comité et des Commissions, statuts, composition des Commissions, publications de l'Union.

La 2e partie donne les statuts et la liste des membres des syndicats adhérents ; la 3e partie renseigne sur les syndicats ne faisant pas partie de l'Union ; la 4e sur les associations techniques ou scientifiques intéressant l'industrie électrique ; la 5e sur les ministères auxquels les électriciens peuvent avoir à faire.

La 6e partie, d'une très grande importance technique, contient les règles de normalisation et de fabrication du matériel électrique adoptées par la Commission électrotechnique internationale, par le Comité électrotechnique français, par la Commission permanente de standardisation, par l'Union elle-même, par la Société hydrotechnique, ainsi que l'arrêté du ministre des Travaux publics réglementant la fabrication des compteurs.

Dans la 7e partie, on trouve la loi française du 2 avril 1919, sur les unités de mesure, un tableau des unités françaises et étrangères.

La 8e partie contient les divers documents officiels relatifs aux accidents causés par l'électricité ; la 9e ceux concernant la T. S. F. ; la 10e des renseignements sur les grandes écoles publiques et privées.

La 11e est consacrée à la législation des distributions d'énergie électrique, et la 12e spécialement aux lois sur les réseaux ruraux.

La 13e contient des renseignements sur le commerce et les douanes, organisation des services, législation, tarifs douaniers.

La 14e fournit des données statistiques sur les principales branches de l'industrie électrique ; la 15e contient des notices sur les principales maisons françaises de l'industrie électrique.

Le volume se termine par un répertoire alphabétique des établissements et des noms cités dans l'annuaire. On peut dire qu'il constitue la source la plus abondante, la plus complète et la plus logiquement classée de tous renseignements indispensables à un électricien, à quelque catégorie qu'il appartienne

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

Réunion ordinaire mensuelle du 3 Mars 1897.

Présidence de M. Sciama

M. Blanchon présente l'*accumulateur Tudor à charge rapide*, de formation Planté, à plaques hérissées d'ailettes. La surface active par kilogramme d'électrode est de 20 dm^2 à 27 dm^2, au lieu de 3 dm^2 à 5 dm^2, dans les accumulateurs du type Faure ; la capacité utilisable au régime de 1A par kilogramme d'électrode, atteint de 6,5 à 8Ah. A la décharge en une demi-heure, la densité de courant n'est que de l'ordre de 1A par dm^2 de surface en contact avec l'électrolyte. Il ajoute que la charge rapide appliquée à ces accumulateurs est précisément la charge à tension constante préconisée par M. Picou. Il énumère les divers modes d'emploi appliqués à la traction.

M. Franco envoie une note sur *la traction mécanique dans Paris*, dans laquelle, sans nier les progrès ultérieurs possibles de la traction électrique, il entend démontrer que son système assure un prix de revient du kilomètre-voiture très notablement inférieur au prix de revient donné par cette dernière.

M. Laffargue, revenant sur la question des *canalisations intérieures* discute, au point de vue pratique, la solution, proposée par M. Bonfante, de provoquer des court-circuits entre conducteurs plutôt que des terres et cela en plaçant les fils sous tensions différentes dans une même rainure. M. Bonfante répond que si, comme l'a dit M. Laffargue, l'isolement satisfaisant trouvé pour les conducteurs en moulure, n'est souvent dû qu'à la résistance de cette dernière, c'est une raison de plus de placer les conducteurs côte à côte pour forcer l'installateur à adopter une qualité suffisante de l'isolant du conducteur.

BAR-LE-DUC. — IMPRIMERIE COMTE-JACQUET. — 1926.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Assemblée générale du samedi 2 avril 1927, p. 372.
Adoption du rapport de la Commission des Comptes.
Réunion ordinaire mensuelle du samedi 2 avril 1927, p. 372.
Admission de membres titulaires, p. 373.
Dons à la Société, p. 373.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

La mesure des rayonnements (M. FABRY), p. 376. — Observations de M. JANET, p. 396. — L'emploi de l'électricité dans les travaux souterrains des mines grisouteuses (M. AUDIBERT), p. 398. — Observations de MM MATHIVET et NEU, p. 418. — Réponse de M. AUDIBERT, p. 420. — Téléphonie transatlantique. La station radiotéléphonique du Post-Office britannique, à Rugby (M. DELORAINE), p. 421.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS.

1° Principales décisions du Bureau en avril 1927, p. 441.
2° Visite des centres de labourage de la Société électrique de Travaux agricoles et d'une des usines de la Société française des poteaux électriques, p. 441.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p 451. — Texte, p. 451.

TRAVAUX DU GROUPE SUD-EST :

Sommaire, p. 472. — Texte, p 472.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 475.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 478.

IL Y A TRENTE ANS, p. 482.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

du Samedi 2 Avril 1927

Présidence de M. Ch. Fabry

L'Assemblée générale est ouverte à 16 h. 30.

M. Bachellery lit le rapport établi par les Commissaires aux Comptes. Ce rapport mis aux voix est adopté à l'unanimité.

M. Janet, Directeur du Laboratoire Central et de l'Ecole Supérieure d'Electricité, donne lecture de son rapport annuel sur ces deux Etablissements.

M. le Président ajoute : Je félicite M. Janet des résultats qu'il a pu obtenir avec des moyens aussi précaires que ceux dont il dispose.

Il résulte de l'exposé qui vient d'être fait, que l'Ecole a besoin plus que jamais de l'appui de tous ceux qui s'intéressent à elle.

Quant au Laboratoire, il ne peut se passer du concours des constructeurs et des acheteurs de matériel électrique ; c'est la loi commune à tous les Etablissements de ce genre et nous devons vivement souhaiter que les industriels, comprenant leur véritable intérêt, non seulement lui continuent leur concours, mais l'amplifient encore dans l'avenir.

Le rapport du Comité d'Administration est déposé sur le Bureau et mis à la disposition des Membres qui voudraient en prendre connaissance.

L'Assemblée générale est levée à 17 h.

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Samedi 2 Avril 1927.

Présidence de M. Ch. Fabry

La séance est ouverte à 17 heures.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Digitized by Google

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Arrighi de Casanova (Jean), ingénieur en chef à l'Union d'Electricité, 44, boulevard Latour-Maubourg, à Paris (7e). — Présenté par MM. Mercier et Fallou.

Bardin (André-Paul), élève à l'E.S.E., 13, rue Dutot, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Brassenx (Joseph-Michel-Pierre), ingénieur A.M. et E.S.E., chargé du service électrique, Papeteries de Gascogne, à Mimizan (Landes). — Présenté par MM. Marchandeau et Eyquem.

Denoyel (Xavier-Marie-Joseph), ingénieur E.C.P., attaché aux services extérieurs de la Compagnie du Gaz de Lyon (Gaz et Electricité), 1, chemin « Elie-Paris », à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. R. Gros et Rivière.

Egger (Léon), administrateur-directeur de la Société Savoisienne de Constructions Electriques, Villa « Robert », rue Victor-Hugo, à Aix-les-Bains (Savoie). — Présenté par MM. Rivière et Dumont.

Forest (Claudius), administrateur-directeur de la Société Savoisienne de Constructions Electriques, à Aix-les-Bains, Villa « Pierrefleury », boulevard de la Roche-du-Roi, à Aix-les-Bains (Savoie). — Présenté par MM. Rivière et Dumont.

Gallet de Santerre (Robert), ingénieur à l'Union d'Electricité, 57, rue Pierre-Charron, à Paris (8e). — Présenté par MM. Mercier et Fallou.

George (Lucien), Directeur de l'Ouest-Lumière, 36, rue Vital, à Paris (16e). — Présenté par MM. Aubert et Eschwège.

Hauch (Jean-Baptiste), chef de service, Secteur de Fère-en-Tardenois et extensions, à Fère-en-Tardenois (Aisne). — Présenté par MM. H. Cahen et Brylinski.

Ionesco (Eugène), élève à l'E. S. E., 18, rue Plumet, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Martin (Maurice-Marie-Ernest), ingénieur à l'Union d'Electricité, 57, rue Pierre-Charron, à Paris (8e). Domicile : 60, rue de Clichy, à Paris (9e). — Présenté par MM. Fallou et Delcroix.

Rauber (Emile-Adolphe), Directeur de la Centrale Electrique de l'Union d'Electricité, à Gennevilliers, 1, avenue d'Argenteuil, à Gennevilliers (Seine). — Présenté par MM. Berhaut et Fallou.

Ruthardt (Stéphane-Paul-Marie), ingénieur à l'Union d'Electricité, 65, rue du Ranelagh, à Paris (16e). — Présenté par MM. Fallou et Delcroix.

Seoudy (Ahmed), élève à l'E. S. E., 15, rue Bréa, à Paris (6e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Société d'Electricité de la région de Valenciennes-Anzin, représentée par son directeur, M. Lucien Ledeuil, ingénieur E. S. E., 62, boulevard Froissart, à Valenciennes (Nord). — Présentée par MM. Legouez et Grosselin.

Vennin (Jacques), ingénieur à l'Union d'Electricité, 57, rue Pierre-Charron, à Paris (7e). Domicile : 30, rue Bonaparte, à Paris (6e). — Présenté par MM. Fallou et Delcroix.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président annonce que MM. Hueber et Regnault ont fait à la Société un nouveau don de 25 000 francs.

La Société a reçu, d'autre part, pour la reconstruction de l'Ecole Supérieure d'Electricité, un don de 100 000 francs du Matériel Téléphonique et un don de 50 000 francs de la Banque de Paris et des Pays-Bas.

M. le Président exprime la reconnaissance de la Société à ces généreux donateurs.

Digitized by Google

Il remercie les donateurs des ouvrages offerts en mars, dont la liste est donnée dans le présent bulletin.

Il annonce que M. d'AUBENTON-CARAFA, Directeur général de la Compagnie du Gaz de Lyon et Trésorier du Groupe Sud-Est, vient d'être nommé Chevalier de la Légion d'Honneur.

Il remercie M. GOUVERNEUR, Administrateur Délégué de la Société Electrique des travaux agricoles et de la Société Française des Poteaux Electriques, pour la visite très intéressante qu'il a bien voulu organiser le 12 mars dernier et qui a très vivement intéressé ceux de nos Membres qui ont pu prendre part à l'excursion.

Il remercie également M. ESCHWEGE qui a été l'instigateur de cette double visite.

M. le Président fait connaître que Sir J.-J. THOMSON viendra à Paris, au début de juin pour recevoir la Médaille Mascart, et fera à cette occasion une Conférence dans l'Amphithéâtre de Physique de la Sorbonne.

Un banquet sera offert en son honneur au cours duquel la médaille lui sera remise.

L'ordre du jour appelle les communications techniques.

M. BACQUEYRISSE, Directeur général de l'Exploitation et des Services Techniques de la S.T.C.R.P., présente une communication sur *l'évolution récente dans la construction du matériel roulant et dans l'équipement des tramways électriques.*

Il passe en revue, notamment, les progrès réalisés et les tendances qui se font jour dans l'établissement des châsssis, des caisse et de l'équipement ; il souligne la prédominance des voitures type automobiles, des châssis, emboutis, des freins sur tambours, la tendance à l'emploi des voitures à un seul agent, la recherche de la puissance massique maxima des moteurs et de leur unification.

M. le Président remercie vivement le conférencier et lui demande quelles mesures pourraient être prises pour supprimer les à-coups violents au moment où une voiture aborde une partie courbe de la voie.

M. BACQUEYRISSE répond que l'on a commencé, depuis plusieurs années, à faire des raccordements paraboliques, mais la généralisation de ce procédé exigera encore un temps assez long.

M. le Président appelle également l'attention du Conférencier sur l'odeur souvent dégagée par les autobus.

M. BACQUEYRISSE répond que les prélèvements faits sur le gaz

Digitized by Google

d'échappement, ont montré que la combustion est parfaite ; néanmoins il faut reconnaître que les changements assez fréquents dans le carburant employé, qui a été successivement de l'essence pure, et les mélanges d'essence et d'alcool ou de benzol etc., obligent à des modifications de réglage.

M. le Président remarque que le receveur rencontre souvent de grandes difficultés matérielles pour percevoir le prix des places.

M. Bacqueyrisse répond que le mode de tarification par section complique évidemment le travail du receveur ; aussi la Compagnie a-t-elle mis à l'étude l'emploi de tickets qui seraient pris à l'avance.

Une pénalité serait prévue pour les voyageurs montant sans ticket.

Le receveur aurait entre les mains un appareil qui, en annulant le ticket, y imprimerait la section de montée et celle de descente, la classe choisie, la date et l'heure. Cet appareil comporterait 400 pièces.

La séance est levée à 18 h. 40.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

LA MESURE DES RAYONNEMENTS [1]

M. Ch. Fabry

Messieurs,

Il est d'usage que, chaque année, le président de votre Société, au moment de son entrée en fonctions, fasse devant vous une communication sur une des questions dont il s'est particulièrement occupé. Comme vous choisissez souvent vos présidents en dehors du domaine de l'industrie électrique, cet usage vous donne le moyen d'introduire un élément de variété dans les questions traitées devant vous. Aussi n'hésiterai-je pas à traiter le sujet que j'ai choisi sans aucune préoccupation d'ordre pratique ; ce sont des idées générales et des méthodes que je veux vous exposer; vous ne m'en tiendrez pas rigueur, car vous savez que tout progrès dans le domaine des idées finit par avoir des conséquences dans le domaine de la pratique.

L'élément simple de tout rayonnement. — Tout rayonnement peut être décomposé en *éléments simples*, dont chacun est une radiation simple, ou monochromatique. Ces radiations simples sont en nombre infini ; elles forment une série continue, comme les différents points d'un segment de droite ; des mots ne suffisent pas pour les distinguer (il y faudrait une langue d'une richesse infinie) ; chaque radiation doit être caractérisée par un nombre, susceptible de variation continue.

On connaît divers moyens pour séparer les radiations simples qui composent un rayonnement et les ranger dans un ordre rationnel ;

(1) Communication présentée à la séance de la Société française des Electriciens, du samedi 5 février 1927.

Digitized by Google

sur le « spectre » ainsi obtenu, la distance à une origine fixe pourra servir à définir une radiation simple. Mais un tel numérotage reste arbitraire, et sans relation simple avec un numérotage analogue fait au moyen d'un autre appareil. C'est par une donnée caractéristique, indépendante de tel ou tel appareil particulier, qu'il faut définir une radiation simple.

Cet élément caractéristique de chaque radiation simple se révèle par le fait suivant : chaque radiation simple est une perturbation *périodique* qui se propage, à laquelle s'attache une *fréquence* déterminée. Au lieu de la fréquence, on trouve souvent plus commode (ainsi que le font aussi les techniciens de la T. S. F.) de donner la *longueur d'onde* qui varie d'ailleurs en raison inverse de la fréquence.

On sait aujourd'hui produire et étudier toute la série des radiations, sans aucune solution de continuité, entre des limites de fréquence extraordinairement étendues, allant depuis 10 000 jusqu'à plus de 10^{21} par seconde. Dans l'échelle des longueurs d'onde, cela correspond à des valeurs allant de 30 kilomètres (1) jusqu'à environ un dix-millionième de micron (2). Employant le langage de l'Acoustique, on peut dire que le domaine connu des radiations s'étend sur environ 60 octaves ; les valeurs extrêmes de la période sont entre elles comme un centième de seconde et un million de siècles.

Dans cet ensemble, notre œil n'est sensible qu'à un tout petit groupe, celui des radiations dont la fréquence est comprise entre $3{,}7 \times 10^{14}$ et $7{,}5 \times 10^{14}$, ou, ce qui revient au même, dont les longueurs d'onde s'échelonnent entre 400 et 800 $m\mu$. Les groupes immédiatement voisins de ce « groupe visible » sont : du côté des grandes longueurs d'onde, les radiations infra-rouges, et du côté des petites longueurs d'onde, les radiations ultra-violettes.

Ainsi se trouvent définis et numérotés les éléments simples de tous les rayonnements. Il n'en faudrait pas conclure que dans tout rayonnement toutes ces radiations existent. Il ne peut pas s'y trouver autre chose, mais jamais, dans un même rayonnement, on ne trouve (du moins avec une intensité appréciable) tout l'immense ensemble des

---

(1) Du côté des basses fréquences, la limite choisie ici est tout à fait arbitraire ; on peut, au moyen d'alternateurs, obtenir toutes fréquences au-dessous du chiffre choisi ; des raisons d'ordre pratique font qu'on ne les utilise pas pour la production de radiations.

(2) Un micron (par abréviation 1 μ) est la millième partie de un millimètre Dans ce qui suit on se servira souvent comme unité du milli-micron désigné par l'abréviation $m\mu$ (et non pas $\mu\mu$ comme, trop souvent, on l'écrit incorrectement).

Digitized by Google

radiations simples. En réalité, deux cas essentiels peuvent se présenter :

1° Toutes les radiations comprises entre deux limites sont présentes; on dit que l'on a alors un « rayonnement à spectre continu ». C'est le cas du rayonnement émis par les corps solides chauffés, par conséquent par les lampes à incandescence, par le cratère de l'arc, par le manchon Auer, et même par les flammes des hydrocarbures où le rayonnement est émis, pour la plus grande partie, par des parcelles de charbon portées à haute température.

2° Le rayonnement n'est formé que d'un nombre fini de radiations simples distinctes, sans que les radiations intermédiaires soient présentes. Le « spectre » de ce rayonnement se compose d'un nombre fini de lignes séparées. On a alors un rayonnement à « spectre discontinu » ou à « spectre de lignes ». Un tel rayonnement est émis par les gaz sous faible pression lorsqu'ils sont électriquement excités ; les deux exemples les plus connus sont le rayonnement de la vapeur de mercure et celui du néon.

L'élément intensité ; le rayonnement considéré du point de vue énergétique. — Ce qui précède définit qualitativement les éléments constituants d'un rayonnement. De toute évidence, il faut faire intervenir aussi un élément définissant la *quantité*, soit pour le rayonnement pris dans son ensemble, soit pour chacune des radiations simples en lesquelles on peut le décomposer. Là encore, on peut imaginer des mesures arbitraires utilisant l'effet produit sur tel ou tel appareil récepteur arbitrairement choisi, par exemple sur l'œil. De telles mesures peuvent avoir une importance pratique; elles ne doivent pas être prises comme définitions fondamentales. Celles-ci doivent être basées sur une propriété caractéristique de chaque rayonnement, indépendante des propriétés de tel ou tel appareil récepteur. Cette quantité caractéristique propre à définir l'intensité, se révèle immédiatement si l'on remarque que tout rayonnement est un transport d'énergie.

Un rayonnement ne prend jamais naissance dans l'espace vide; il a son origine, sa racine, sur de la matière ; à partir de cette origine, il transporte de l'énergie à travers l'espace, énergie qui peut être captée et transformée dans un récepteur, ou se propager indéfiniment à travers l'espace. La quantité caractéristique qui définit l'intensité de ce rayonnement est, évidemment, la quantité d'énergie transportée par unité de temps. C'est donc une grandeur de même espèce qu'une

Digitized by Google

puissance; elle doit se mesurer en watts. En l'exprimant ainsi, on aura ce que l'on peut appeler l'*intensité énergétique* du rayonnement considéré. Par exemple, le rayonnement venant du soleil qui, par une belle journée d'été, à midi, lorsque le soleil est près du zénith, tombe sur une surface de 1 mètre carré placée au niveau du sol, a une intensité énergétique d'environ 1 kilowatt.

Cette énergie que transporte le rayonnement n'est pas de la chaleur, ni du travail mécanique ; c'est une forme particulière de l'énergie, dite « énergie rayonnante » ; la théorie électromagnétique du rayonnement (théorie qui ne contient aucune hypothèse, mais n'est que l'expression des faits) nous apprend que cette énergie est, à chaque instant, dans chaque élément du volume traversé par le rayonnement, en partie sous forme d'énergie électrostatique et en partie sous forme d'énergie magnétique.

Principe de la méthode de mesure énergétique. — Pour mesurer la puissance ainsi transmise, nous n'avons d'autre ressource que de transformer son énergie en quelque autre forme, directement mesurable, d'énergie.

Sans parler des très importantes transformations photo-chimiques, trop complexes pour servir de base fondamentale aux mesures énergétiques, l'énergie transportée par le rayonnement peut passer à l'une ou l'autre des formes les plus communes de l'énergie : chaleur et travail mécanique.

Comme d'habitude, c'est la transformation en chaleur qui est la plus facile ; c'est, en effet, un fait très général que toute forme d'énergie peut, avec une déplorable facilité, se transformer en chaleur ; une bonne partie de la science de l'électricien et de celle de l'ingénieur mécanicien a pour but de lutter contre cette transformation, qui est une dégradation d'énergie. L'énergie rayonnante n'échappe pas à cette loi, et l'ingénieur opticien s'efforce, lui aussi, de réduire au minimum la perte de radiation par transformation en chaleur. Toutes les fois qu'un rayonnement est *absorbé* (sans produire de transformation chimique ni de réémission de radiation), il apparaît une quantité de chaleur équivalente à l'énergie rayonnante anéantie. Les moyens propres à produire cette transformation sont d'une extrême simplicité ; il suffit de diriger le rayonnement à travers un milieu absorbant, qui l'affaiblit progressivement et le fait disparaître parfois dans une épaisseur très faible, ou de le faire tomber sur une surface

Digitized by Google

noire, ou mieux encore de le jeter, par une petite ouverture, dans un espace clos d'où il ne peut sortir.

D'autre part, puisque le rayonnement est un transport d'énergie, existe-t-il un moyen pour produire du travail mécanique au moyen de cette énergie ? Du point de vue pratique, c'est le problème de l'utilisation mécanique du rayonnement solaire (notez que je ne dis pas « de la chaleur solaire »). Les essais ont toujours été faits en transformant d'abord l'énergie rayonnante en chaleur par absorption, et utilisant ensuite l'énergie calorifique ainsi produite dans un moteur thermique ordinaire. C'est probablement, en effet, la seule voie ouverte pour une solution pratique du problème; mais du point de vue qui nous occupe, cette solution ne présente aucun intérêt, puisque le rayonnement est ainsi anéanti du moment où il est transformé en chaleur, et que la production ultérieure du travail est une pure question de thermodynamique, où le rayonnement n'intervient en rien. On peut même dire que la méthode suivie est barbare ; elle rappelle celle qui consisterait à faire de la traction électrique au moyen de locomotives à vapeur chauffées par effet Joule. Notre problème est tout autre. Existe-t-il un effet mécanique direct, permettant de produire du travail au moyen du rayonnement sans passer par la dégradation calorifique de l'énergie ?

Oui, cet effet existe, et son importance théorique est très grande, malgré l'extrême petitesse des forces pratiquement produites ; c'est la pression de radiation.

Toute surface exposée à un rayonnement subit une pression qui, toutes choses égales d'ailleurs, est proportionnelle à l'énergie reçue par unité de temps. Soit, pour prendre le cas le plus simple, une surface noire qui reçoit normalement un rayonnement ; si W est la puissance que reçoit chaque unité de surface, et c la vitesse de la lumière, la pression a pour valeur $p = \frac{W}{c}$, quantité qui est égale aussi à l'énergie rayonnante contenue dans chaque unité de volume en avant de la surface. La pression est doublée pour le même rayonnement incident, si la surface, au lieu d'être noire, est parfaitement réfléchissante, et, dans ce cas, le rayonnement est renvoyé sans aucune transformation en chaleur.

Il n'est pas, théoriquement, impossible d'imaginer une « turbine à radiation » qui produirait du travail mécanique au moyen de la pression de radiation, sans aucun phénomène calorifique ; malheureuse-

Digitized by Google

ment les forces mises en jeu sont si faibles que tout espoir de réalisation doit être abandonné. Un miroir parfait recevant normalement le rayonnement solaire avant toute absorption atmosphérique subirait, sur chaque mètre carré, une force d'environ une dyne (à peu près le poids de 1 milligramme). Pour que la turbine à radiation eût un rendement appréciable, il faudrait que la vitesse périphérique de ses palettes fût comparable à celle de la lumière, de même que dans une turbine à impulsion, la vitesse des aubes doit être comparable à celle du fluide agissant. On est si loin de pouvoir réaliser cette condition que, pour produire du travail mécanique au moyen du rayonnement, il y a encore plus de chances de succès en transformant d'abord le rayonnement en chaleur, en dépit de la déplorable dégradation d'énergie qui en résulte.

Mesure énergétique du rayonnement par transformation en chaleur. — Nous avons donc deux effets qui dépendent directement de la puissance transportée par le rayonnement, et auxquels on pourrait penser pour mesurer cette puissance : la transformation en chaleur et la pression de radiation. Malheureusement, le second est trop faible pour conduire à une méthode de mesure utilisable. Il ne reste qu'une seule méthode directe pour mesurer l'énergie d'un rayonnement, c'est de l'anéantir comme rayonnement en transformant son énergie en chaleur, et de mesurer le débit de chaleur (nombre de calories par seconde) qui résultera de cette transformation.

Ainsi s'explique l'importance des mesures faites au moyen du *récepteur thermométrique*. Cet appareil n'est pas autre chose, en principe, qu'un thermomètre à surface noircie, qui absorbe et transforme en chaleur tout rayonnement qui tombe sur lui. Au bout d'un temps plus ou moins long, le thermomètre prend une température stationnaire qui excède celle du milieu ambiant d'une quantité proportionnelle au débit de chaleur, et par suite à la puissance du rayonnement absorbé. Les qualités que l'on demande à ce récepteur ne sont point celles des thermomètres ordinaires. Sa surface doit être parfaitement absorbante ; il doit avoir une très faible capacité calorifique pour que l'équilibre soit rapidement atteint ; il doit accuser les plus petits écarts avec la température ambiante ; sa propre déperdition calorifique doit être aussi faible que possible ; enfin, dans beaucoup de cas, sa surface doit être extrêmement petite pour que l'on puisse explorer les divers points d'une image ou d'un spectre. L'appareil le plus employé est

Digitized by Google

toujours la vieille pile thermo-électrique, dont l'emploi remonte à Melloni. Il n'est pas facile de comparer équitablement les qualités des divers appareils, car on est souvent obligé de sacrifier en partie l'une des qualités, par exemple la sensibilité, au profit des autres, par exemple de la rapidité des mesures ou du pouvoir séparateur qui exige une très petite surface. Comme ordre de grandeur, on peut dire que les appareils les plus sensibles accusent un excès de température du millionième de degré sur la température ambiante, et peuvent déceler un flux d'énergie de l'ordre de 10^{-9} watt.

C'est un résultat remarquable, qui permet d'aborder des problèmes fort difficiles, comme la mesure en énergie du rayonnement d'une étoile ; et cependant, si l'on compare le récepteur thermométrique avec les autres appareils sensibles aux radiations, on peut dire que, sous le rapport de la sensibilité et du pouvoir de définition, le récepteur thermométrique apparaît comme un appareil fort imparfait. Son intérêt vient de ce que sa sensibilité est, par définition, constante dans toute l'étendue du spectre ; à énergie égale, il réagit également à toutes les radiations, et les mesure toutes avec une égale impartialité. Tous les autres récepteurs sont plus ou moins étroitement spécialisés ; mais chacun d'eux, dans le domaine spectral auquel il est adapté, dépasse de beaucoup les plus délicats récepteurs thermométriques en sensibilité, et souvent aussi en pouvoir de définition. Par exemple, l'œil humain, dans les meilleures conditions, peut percevoir un point lumineux qui lui envoie un flux d'énergie de 10^{-16} watt, dix millions de fois plus petit que le flux nécessaire pour faire dévier le galvanomètre d'un excellent récepteur thermométrique. La plaque photographique, en une pose de dix minutes, peut enregistrer un flux de 10^{-15} watt sous forme d'une image ponctuelle. Aussi est-il presque impossible de mesurer, et même de déceler, au moyen du récepteur thermométrique, des rayonnements faciles à observer visuellement ou par photographie.

Il n'en reste pas moins que la méthode thermométrique est la seule méthode directe pour mesurer l'intensité énergétique d'un rayonnement. L'intensité ainsi définie est bien la propriété spécifique du faisceau, en dehors de toute particularité relative à tel ou tel appareil récepteur. Elle représente aussi le carré de la valeur maximum du champ électrique ou du champ magnétique qui existe dans le faisceau de rayonnement.

Digitized by Google

Séparation des radiations simples ; courbe spectrale d'énergie. — Dans la mesure dont on vient de parler, toutes les radiations sont mesurées en bloc ; il faut aller plus loin et séparer ce qui appartient à chacune des radiations simples que peut contenir le rayonnement que l'on étudie.

Il faut distinguer deux cas, selon que le rayonnement, analysé au spectroscope, donne un spectre de lignes ou donne un spectre continu.

1° Dans le premier cas, le rayonnement ne contiendra qu'un nombre fini de radiations simples. L'étude complète des intensités se traduira par une table numérique donnant les longueurs d'onde des diverses radiations présentes et les intensités énergétiques correspondantes.

Les mesures de ce genre ne sont pas encore très avancées. Pour les spectres émis par la plupart des gaz, on a des valeurs très exactes pour les longueurs d'onde, mais pour les intensités (dont les rapports sont d'ailleurs assez variables avec les conditions d'excitation) les mesures sont jusqu'ici peu nombreuses. On commence cependant à débrouiller quelques lois remarquables, par exemple des rapports numériques simples entre les intensités de lignes émises par un même gaz.

2° Le second cas est, de beaucoup, le plus important pour la pratique. Le rayonnement à « spectre continu » contient toutes les radiations contenues dans un certain intervalle. On ne peut pas parler de l'intensité d'*une* de ces radiations, mais seulement de l'intensité de l'ensemble des radiations comprises entre deux limites. Les intensités ne peuvent plus être définies par un tableau de nombres ; elles le sont par une courbe, telle que celle de la figure 1, où les longueurs d'onde sont prises en abscisses et les ordonnées sont telles que l'intensité énergétique des radiations comprises entre deux longueurs d'onde soit représentée par l'aire comprise entre la courbe et les deux ordonnées extrêmes.

Le rayonnement pris comme exemple pour établir la courbe de la figure 1 est, à peu près, le rayonnement du cratère positif d'un arc électrique ordinaire (à charbons non minéralisés), et l'aire couverte de hachures correspond à l'énergie des radiations visibles (longueurs d'onde comprises entre 400 et 750 $m\mu$). On voit que cette aire n'est qu'une faible partie, environ 1/6, de l'aire totale de la courbe ; la plus grande partie de l'énergie rayonnée par cette source (qui est,

Digitized by Google

cependant, parmi celles qui ont relativement un bon rendement lumineux) est sous forme de radiations invisibles, principalement infrarouges. On peut dire que tous les efforts faits pour améliorer le rendement lumineux de nos sources de lumière a été dirigé vers ce but : diminuer la proportion de radiations invisibles rayonnées par les lampes.

La détermination expérimentale directe de la courbe que l'on vient de définir est théoriquement très simple ; il suffit, en principe, de séparer en un « spectre » les radiations simples qui constituent le rayonnement étudié, et de promener dans ce spectre un récepteur

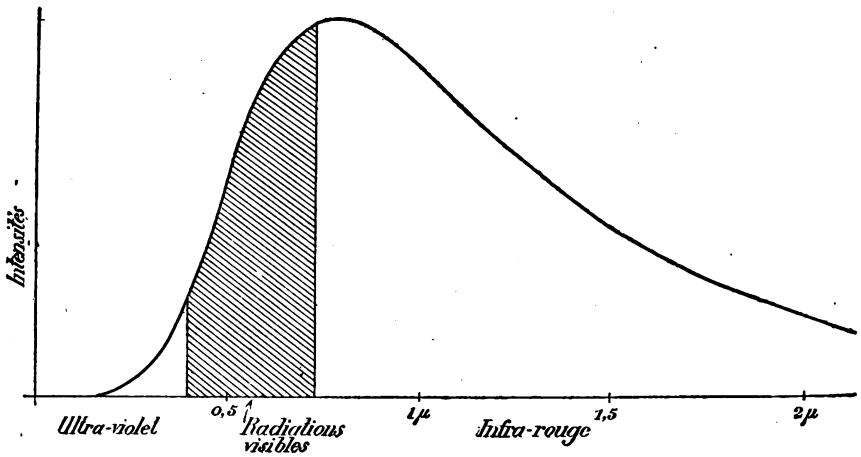


Fig. 1. — Courbe donnant les intensités des radiations en fonction de leur longueur d'onde.

thermométrique qui mesure l'énergie contenue dans des bandes successives d'égale largeur. En réalité, cette opération est extrêmement délicate, et ne peut être réussie que sur des rayonnements très intenses. La mesure brute, déjà difficile, doit être soumise à de nombreuses corrections ; il faut tenir compte de l'absorption par les prismes, qui varie d'une radiation à une autre ; la loi de dispersion de ces prismes entre en ligne de compte, car des bandes d'égale largeur ne correspondent pas à des différences égales de longueur d'onde ; souvent, le récepteur thermométrique n'est pas complètement « noir », et absorbe inégalement les radiations, ce qui lui enlève une partie de son « impartialité ». Aussi, n'est-ce que depuis une époque relativement récente que l'on connaît à peu près les courbes spectrales d'énergie des rayonnements les plus usuels, et n'est-ce que depuis très peu d'années que la considération de ces courbes a pu exercer une influence

Digitized by Google

sur la technique de la photométrie. Des recherches très remarquables, datant d'un demi-siècle, avaient cependant attiré l'attention des physiciens sur la définition de ces courbes et sur les méthodes propres à les déterminer, mais ces travaux n'avaient eu aucune influence sur les techniciens de la photométrie.

La plupart des indications que l'on possède aujourd'hui ont été, d'ailleurs obtenues, non par une mesure directe, mais par une méthode de comparaison dont on va indiquer le principe. Remarquons que si l'on dispose d'une source de rayonnement dont la courbe spectrale d'énergie ait été déterminée une fois pour toutes, le problème se trouve singulièrement simplifié ; la courbe d'un rayonnement quelconque pourra être déterminée par comparaison avec la courbe connue, en comparant les deux spectres, radiation par radiation ; cela élimine toutes les corrections et permet même l'emploi de n'importe quel récepteur, voire même de plusieurs récepteurs différents employés chacun dans la région spectrale à laquelle il est le mieux adapté. Or, il existe un rayonnement dont l'importance théorique apparaît de jour en jour comme plus considérable, et dont l'intérêt commence à être bien compris dans les problèmes de photométrie ordinaire. Ce rayonnement remarquable est celui du « corps noir », émis sous l'action de la seule température par tout corps qui absorbe toutes les radiations qu'il reçoit. Une telle propriété est approximativement réalisée par un corps dont la surface est *noire* (charbon, noir de platine, etc.) ; elle l'est beaucoup mieux par une petite ouverture percée dans la paroi d'un four dont l'intérieur est à température uniforme.

La courbe spectrale d'énergie du rayonnement du corps noir peut être considérée, aujourd'hui, comme parfaitement connue ; elle est même connue, si paradoxal que cela puisse paraître, avec une précision meilleure que celle des déterminations expérimentales, parce que cette connaissance est appuyée non seulement sur des mesures directes, mais encore sur des raisonnements thermodynamiques qui imposent un certain nombre de conditions rigoureuses. C'est ainsi que des raisonnements très simples conduisent à cette conclusion que « tous les corps noirs, à une même température, ont des rayonnements identiques », et que par suite ce rayonnement, en quantité et en qualité, ne dépend que de la température. Le résultat final de la théorie, corroboré par les mesures, est l'équation de la courbe spectrale d'énergie, contenant le paramètre température. L'équation de

Digitized by Google

PLANCK est celle qui satisfait le mieux à l'expérience et à la théorie ; elle s'exprime de la manière suivante, en désignant par T la température du corps noir dans l'échelle absolue, par λ la longueur d'onde, par y l'ordonnée de la courbe spectrale d'énergie définie ci-dessus, et enfin par A et C deux constantes :

$$y = \frac{A}{e^{\frac{C}{\lambda T}} - 1}$$

Cette formule donne le moyen de se procurer un rayonnement ayant une courbe spectrale d'énergie connue ; inversement, elle est d'un puissant secours en pyrométrie pour mesurer la température d'un « corps noir » par l'étude du rayonnement qu'il émet.

Emploi des divers récepteurs pour l'étude énergétique d'un rayonnement. — L'imperfection, sans grand espoir d'amélioration sérieuse, du récepteur thermométrique, rend indispensable l'emploi d'autres récepteurs de radiations, plus commodes, plus sensibles et plus fins. Tant qu'il s'agit seulement de constater la présence d'une radiation dans un spectre, cela ne donne lieu à aucune difficulté ; dès qu'il s'agit de mesurer des intensités, il faut agir avec prudence, et se tenir solidement aux principes fondamentaux. Si l'on se borne à noter la manière dont réagit le récepteur aux diverses radiations que l'on étudie, les nombres que l'on obtient sont à peu près dénués d'intérêt.

On peut cependant (et l'on devrait toujours le faire) obtenir avec n'importe quel récepteur de véritables courbes spectrales d'énergie, en opérant par comparaison avec un rayonnement ayant une courbe d'énergie connue ; le rayonnement du corps noir est tout indiqué pour servir à cet usage. On connaît, en effet, divers moyens qui permettent d'affaiblir dans un rapport connu les diverses radiations qui composent un rayonnement ; c'est là le problème que BOUGUER [1] désignait sous le nom de problème de *gradation de la lumière*, et ce nom très expressif mérite d'être conservé. D'autre part, tout appareil, si complexes que soient ses propriétés, permet de constater l'égalité des intensités de deux rayonnements de même espèce. En procédant par gradation et égalisation on peut, radiation par radiation, comparer le rayonnement étudié au rayonnement connu, et de la courbe spectrale d'énergie du second, déduire celle du premier. Le résultat

(1) Pierre BOUGUER, *Essai d'optique sur la gradation de la lumière*, 1729.

Digitized by Google

final donne la courbe caractéristique du rayonnement étudié, indépendamment des propriétés du récepteur employé.

Les divers appareils pouvant servir à la mesure des radiations. — De ces appareils sensibles aux radiations, il en existe un assez grand nombre, chacun utilisable dans une partie du spectre, chacun avec certains avantages et certains inconvénients. Il ne peut être question ici de les décrire tous ; on doit se borner à en donner une classification et à rappeler quelques-unes de leurs propriétés.

Un premier groupe d'appareils récepteurs comprend l'œil et la plaque photographique. Ils sont tous deux remarquables par leur pouvoir de définition (c'est-à-dire par la propriété de séparer une image en très petits éléments), et aussi par ce fait qu'ils sont, l'un et l'autre, capables de constater l'égalité ou l'inégalité de deux rayonnements de même espèce, mais ne peuvent donner directement une évaluation du rapport de leurs intensités. Cette incapacité est particulièrement frappante dans le cas de l'œil. Si nous regardons deux surfaces voisines inégalement brillantes, nous pouvons bien dire quelle est celle dont la « brillance » est la plus élevée ; mais si nous nous laissons aller à formuler une valeur du rapport des deux brillances, nous tombons dans les plus grossières erreurs. Aussi, toute la photométrie visuelle exige-t-elle l'emploi strict de la méthode par « gradation et égalisation », l'œil servant seulement à constater l'égalité, et la gradation étant basée sur des considérations énergétiques. Il est alors évident que, *pour des rayonnements de même espèce*, les rapports d'intensités ainsi déterminés sont concordants avec le résultat de la comparaison énergétique directe.

Des considérations analogues s'appliquent à la plaque photographique, qui, elle aussi, constate l'égalité de deux flux rayonnants de même espèce par l'égalité des noircissements produits, après des expositions égales, sur deux parties d'une même plaque. Il y a cependant, entre la plaque photographique et l'œil, cette différence essentielle que, dans le cas de l'œil, l'égalité ne peut être jugée que si les deux impressions sont simultanées ; la plaque photographique peut juger de l'égalité de deux impressions successives. L'œil ne peut pas faire de comparaisons en utilisant ses souvenirs ; la plaque photographique peut le faire. Enfin, les spécialisations dans le spectre ne sont pas les mêmes pour ces deux récepteurs ; on reviendra un peu plus loin sur ce point.

Digitized by Google

Un second groupe de récepteurs comprend les appareils donnant, par lecture directe, une indication sur l'intensité du flux de rayonnement agissant. Soumis à un rayonnement monochromatique déterminé, l'appareil donnera une indication qui sera fonction croissante du flux agissant, et, dans le cas le plus simple, proportionnelle à ce flux. Le récepteur thermométrique est l'exemple le plus complet des appareils de cette espèce ; le facteur de proportionnalité entre la déviation et l'intensité du flux est *constant*, c'est-à-dire indépendant de la nature du rayonnement. Dans les autres appareils du même groupe, la même proportionnalité existe entre certaines limites d'intensité, mais le facteur de proportionnalité dépend de la radiation agissante ; en d'autres termes, la sensibilité de ces appareils est sélective. Cela n'entraîne pas d'inconvénients pour la comparaison de radiations de même espèce, et la mesure des déviations dispense de l'emploi de la gradation ; les appareils sont « à lecture directe ».

Dans ce groupe d'instruments, nous trouvons la cellule photo-électrique, dont de belles applications ont été faites dans ces dernières années, et qui n'a pas dit son dernier mot dans la mesure des rayonnements. Les études préalables nécessaires pour cette application sont d'ailleurs loin d'être complètes. On connaît très mal la courbe de sensibilité aux diverses radiations ; on ne sait pas si cette courbe est la même pour les cellules de construction analogue, ou si elle varie d'une cellule à une autre ; on ne sait que très mal comment cette courbe se modifie lorsque l'on change la construction de la cellule.

Au même groupe de récepteurs appartiennent le sélénium et les autres corps, dont la résistivité diminue sous l'action d'un rayonnement. En utilisant cette curieuse propriété, il devient facile de disposer un appareil de telle manière qu'un rayonnement fasse dévier un galvanomètre. Depuis quelques années, les corps possédant cette particularité sont devenus assez nombreux, et leurs propriétés commencent à être assez bien connues. Souvent, la sensibilité est localisée du côté des grandes longueurs d'onde, parfois presque entièrement dans l'infra-rouge, ce qui donne des possibilités intéressantes pour une région du spectre très défavorisée sous le rapport des récepteurs utilisables.

Dans la région des très courtes longueurs d'onde (ultra-violet extrême et rayons X) l'action ionisante sur les gaz soumis au rayonnement donne aussi un moyen de mesure intéressant.

Enfin, on peut penser, pour certaines régions du spectre, à la pile

Digitized by Google

photo-électrique, où une force électromotrice se manifeste lorsqu'une électrode reçoit un rayonnement.

Particularités relatives à la plaque photographique. — On voit, par l'énumération qui précède, que les procédés de mesure des rayonnements peuvent être très variés ; comme aucun n'offre, à lui seul, une solution parfaite et universelle du problème, il faut les envisager tous, pour employer dans chaque cas celui qui offre la meilleure solution. Il faut cependant insister sur les services que peut rendre, et que rend déjà, l'emploi de la plaque photographique. Depuis longtemps employée pour enregistrer la forme et la position des images, la plaque photographique est en train de devenir le principal instrument pour la mesure des intensités, et cette évolution mérite d'être signalée. Elle possède pour cela de sérieux avantages, dont le plus évident est d'enregistrer en quelques instants toute une série de données qui seront ensuite utilisées, et cela est particulièrement précieux pour la mesure des intensités dans un spectre, où la détermination directe avec un appareil ne faisant pas d'enregistrement exige un temps très long, pendant lequel le phénomène étudié peut subir d'importantes variations. Il est vrai que la sensibilité de la plaque aux diverses radiations n'est pas sans être sélective ; mais son domaine de sensibilité, par des perfectionnements successifs, augmente de jour en jour. Il comprend, depuis longtemps, toutes les radiations visibles, et déborde largement ce domaine des deux côtés. Du côté des petites longueurs d'onde, il n'y a plus rien à souhaiter ; la sensibilité s'étend sans interruption jusqu'aux ondes les plus courtes, y compris les rayons X et les rayons gamma. Du côté des grandes longueurs d'onde, il reste des progrès à faire, mais déjà la sensibilité de plaques spéciales déborde largement sur l'infra-rouge et s'étend jusque vers la longueur d'onde 1μ.

L'emploi de la plaque photographique pour la mesure des intensités repose, naturellement, sur l'étude du noircissement ou, comme disent les techniciens de la photographie, de la « densité » du négatif photographique, et sur la comparaison des densités produites par les rayonnements étudiés avec les densités résultant de rayonnements convenablement gradués dans des rapports connus. De là l'éclosion, dans ces dernières années, de nombreux appareils destinés à faire ces mesures, appareils connus sous le nom d'opacimètres ou, plus souvent, de « microphotomètres » rappelant que la densité doit être

Digitized by Google

mesurée sur une très petite plage de l'image photographique pour que la mesure se rapporte à un point bien défini de cette image. La description de ces appareils m'entraînerait trop loin ; je ferai seulement remarquer que le dépouillement d'un cliché photographique, exigeant la mesure point par point de la densité de l'image photo-

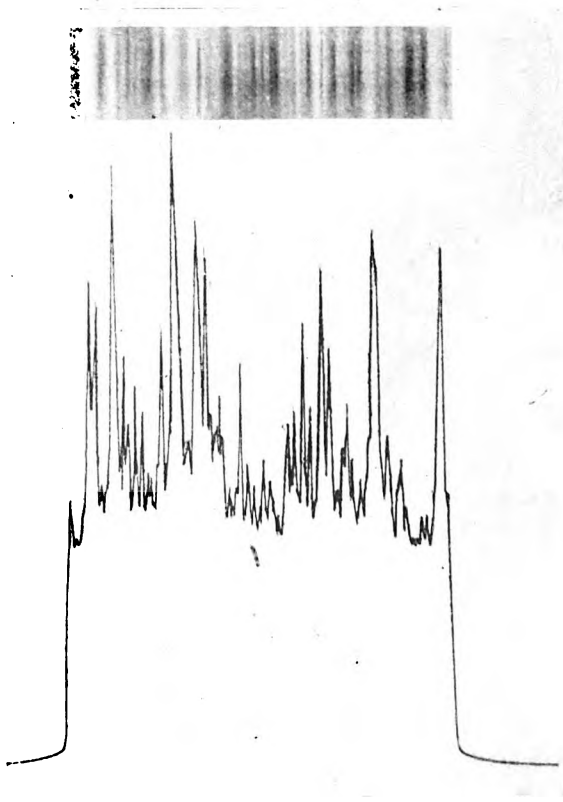


Fig. 2. — Courbe des intensités de radiation relevée à l'enregistreur Lambert et Chalonge.

graphique, est une opération très longue et très fastidieuse. Le plus récent progrès a consisté à remplacer la mesure visuelle des densités par un enregistrement automatique, donnant directement la courbe de noircissement suivant une ligne de la plaque, par exemple sur la longueur d'un spectre. Le récepteur est alors, à la place de l'œil, un appareil à lecture directe, et les déviations du galvanomètre sont enregistrées sur un papier sensible qui se déplace de quantités proportionnelles aux déplacements du cliché. Dans l'appareil construit en Hol-

Digitized by Google

lande par MOLL et très employé malgré son prix élevé, le récepteur est une pile thermoélectrique reliée à un galvanomètre. Tout récemment, un appareil plus robuste a été construit en France par MM. LAMBERT et CHALONGE, en utilisant comme récepteur une cellule photo-électrique dont le courant est envoyé à un galvanomètre après amplification ; cela permet d'employer un galvanomètre robuste, de type courant. La figure 2 donne un exemple d'enregistrement d'un spectre au moyen de cet appareil. En haut, on voit, convenablement agrandie, la reproduction d'un négatif d'une petite partie du spectre solaire ; les nombreuses lignes sombres de ce spectre sont représentées sur cette image par des lignes claires. Au-dessous, à la même échelle, se trouve l'enregistrement du même cliché, tel qu'il est directement tracé par l'appareil. Toutes les particularités du spectre s'y trouvent représentées par des accidents de la courbe, et l'on y découvre parfois des particularités difficilement visibles sur le négatif original. Même pour la simple détermination de la position des lignes, l'enregistrement offre de sérieux avantages ; mais de plus il permet, par comparaison des ordonnées de la courbe avec celles correspondant à un spectre connu, de tracer la courbe spectrale d'énergie du rayonnement étudié.

Mesure « en bloc » de l'intensité d'un rayonnement. — Dans tout ce qui précède, on a mis au premier plan l'étude du rayonnement décomposé en ses éléments simples, mesure qui se traduit par la courbe spectrale d'intensités énergétiques lorsque le rayonnement est à spectre continu.

Il est évident que, pour des buts pratiques (et en particulier pour des buts commerciaux) ces courbes ne résolvent pas le problème qui se pose pour le producteur et le consommateur. Le premier vend et le second achète du rayonnement (ou les moyens de le produire) ; il *faut* que, fût-ce d'une manière conventionnelle, la valeur de ce rayonnement complexe soit fixée par un nombre et non par une courbe. Il est d'autre part évident que, pour un même rayonnement, ce nombre dépendra de l'usage que l'on a en vue ; tel rayonnement peut être de grande valeur pour l'éclairage et de valeur nulle pour telle application médicale ou photochimique. On peut essayer de définir cette « valeur » au moyen des considérations suivantes.

Prendre comme base l'intensité énergétique totale du rayonnement est une solution évidemment inacceptable, qui conduirait, par exemple, à compter pour l'éclairage les radiations infra-rouges invi-

Digitized by Google

sibles au même taux que les radiations auxquelles notre rétine est le plus sensible. On doit donc essayer de définir, pour chaque radiation simple, un *facteur d'utilité* valable pour l'application spéciale que l'on a en vue, ces diverses radiations étant, bien entendu, prises à intensités énergétiques égales. Si deux radiations différentes de longueurs d'onde λ et λ' ont des facteurs d'utilité f et f', cela veut dire qu'inversement des intensités énergétiques f' et f des deux radiations auront même effet utile pour l'application envisagée. La définition et la mesure de ces facteurs suppose seulement que l'on puisse constater une égalité d'effet utile, sans chercher à mesurer des rapports d'effets utiles, ce qui serait généralement impossible ; la mesure des rapports est reportée sur les intensités énergétiques, ce qui ne donne lieu à aucune difficulté théorique. Ces « facteurs d'utilité » ne sont évidemment définis que par leurs rapports ; on pourra prendre arbitrairement l'un d'eux égal à l'unité, et tracer une courbe spectrale des facteurs d'utilité.

Cette courbe étant supposée connue, le problème de la détermination de la valeur d'un rayonnement énergétique est, sinon résolu, du moins déterminé ; un physicien habile doit pouvoir le résoudre pratiquement. Si $y = \varphi(\lambda)$ est la courbe spectrale d'énergie d'un rayonnement (quantité complètement indépendante de telle ou telle application, mais intrinsèquement définie quand ce rayonnement est donné), la valeur de ce rayonnement pour l'application envisagée ci-dessus sera exprimée par l'intégrale

$$U = \int_0^\infty f\varphi(\lambda)\,d\lambda$$

Ceci suppose, toutefois, que pour l'application que l'on a en vue, les diverses radiations simples sont, à l'intensité près, interchangeables. Or cela n'est pas toujours vrai ; dans bien des cas, les diverses radiations produisent des effets foncièrement différents. En vue de l'éclairage, par exemple, les radiations infra-rouges produisent un effet nul, ce qui n'entraîne aucune difficulté ; le facteur qui leur correspond est nul. Mais certaines radiations ultra-violettes produisent un effet nuisible ; on serait tenté de leur attribuer la valeur $f = -\infty$; elles doivent être éliminées des rayonnements utilisés pour l'éclairage.

Supposant le problème bien posé, il reste à trouver une méthode qui permette de déterminer la quantité U définie ci-dessus. Le calcul par l'équation précédente au moyen des deux fonctions f et φ de la

Digitized by Google

longueur d'onde est évidemment trop compliqué pour la pratique ; il s'agit de construire un appareil qui donne directement la quantité U. Pour cela, il faudra bien se servir d'un récepteur, qui, le plus souvent, aura des propriétés sélectives. Ces propriétés seront définies par une courbe spectrale de sensibilité, donnant, à énergie égale, la déviation de l'appareil en fonction de la longueur d'onde. Soit $S = \psi(\lambda)$ ce facteur de sensibilité. Sous l'action du rayonnement complexe ayant la courbe d'énergie $y = \varphi(\lambda)$, il donnera l'indication

$$D = \int_0^\infty S\varphi(\lambda)\,d\lambda$$

en supposant réalisées certaines conditions d'additivité des effets.

Pour que l'appareil choisi mesure la quantité U il faudrait que, par une chance vraiment extraordinaire, il y ait un rapport constant dans tout le spectre entre le facteur de sensibilité S de l'appareil récepteur et le facteur d'utilité f relatif à l'application que l'on a en vue.

On pourra cependant mesurer U au moyen d'un récepteur quelconque, pourvu que sa sensibilité s'étende dans tout le domaine spectral utile pour l'application considérée, c'est-à-dire si S est différent de zéro pour toutes les radiations auxquelles correspond une valeur de f différente de zéro. Il faudra, avant de faire agir le rayonnement sur l'appareil de mesure, affaiblir d'une manière sélective les diverses radiations qui le composent en multipliant chacune d'elles par un facteur, fonction de λ, et proportionnel à $\frac{f}{S}$. Cela donne une grande importance au problème de l'affaiblissement sélectif, selon une loi fixée d'avance, des diverses radiations qui composent un rayonnement. L'emploi d'un appareil dispersif et de diaphragmes taillés suivant une loi convenable donne une solution, malheureusement un peu compliquée, de ce problème.

Trop souvent, on se contente de faire directement la mesure sur un récepteur qui est supposé avoir une courbe de sensibilité telle que $\frac{f}{S}$ soit constant. On remplirait un volume avec la description des « actinomètres » qui sont censés mesurer un certain groupe de radiations utiles pour une certaine application, et on remplirait une bibliothèque avec les résultats de mesures météorologiques, biologiques ou photochimiques faites avec de tels appareils qui, en réalité, mesurent bien quelque chose, sans qu'on puisse dire exactement quoi. De telles mesures, qui se rapportent aux indications d'un instrument, sans aucune signification simple, devraient être soigneusement évitées.

Digitized by Google

Mesures visuelles. — La condition $\frac{f}{S} = c^{te}$ sera évidemment satisfaite si l'appareil récepteur employé utilise justement le phénomène que doit produire l'utilisation que l'on a en vue. C'est ainsi que le photographe pourra juger de « l'intensité photographique » du rayonnement qu'il utilise pour éclairer son studio en prenant comme appareil de mesure une plaque photographique, et précisément celle qu'il se propose d'employer pour l'application qu'il va faire. C'est une méthode un peu barbare, qu'il serait impossible d'employer dans tous les cas. Il n'est pas satisfaisant, pour le médecin radiologiste, de juger après coup de l'intensité du rayonnement dont il se sert, par l'effet curatif ou nuisible que ce rayonnement produit sur un malade.

C'est cependant cette méthode directe qui est à la base de presque toutes les mesures faites en vue de l'application, très particulière mais très importante, du rayonnement à l'éclairage. Toutes les « mesures visuelles » sont faites en prenant comme critérium d'égalité le jugement direct de l'œil, malgré les difficultés de l'égalisation lorsque les deux rayonnements ne sont pas de la même composition (photométrie hétérochrome).

Cependant, dans ce cas, on commence à connaître avec une précision satisfaisante les données nécessaires pour passer des propriétés énergétiques aux « valeurs utiles » ou intensités visuelles. Le facteur d'utilité prend alors le nom de « facteur de visibilité relative » ; il est maximum pour la radiation verte de longueur d'onde 555 $m\mu$, et l'usage est de prendre pour unité la valeur du facteur qui correspond à ce maximum. La courbe qui donne les valeurs du facteur de visibilité en fonction de la longueur d'onde est une courbe en cloche (figure 3), dont l'ordonnée s'annule aux deux extrémités du spectre visible.

On sait, d'autre part, que l'usage s'est maintenu de rapporter les intensités visuelles à une unité arbitraire définie en dehors de toute considération énergétique, et qui porte le nom de *bougie* ; le flux visuel s'exprime au moyen du *lumen*, flux émis par une source uniforme de 1 bougie dans l'angle solide unité. Un même flux de radiations peut s'exprimer, du point de vue énergétique, en watts, et quant à son utilité visuelle, en lumens. Le rapport entre ces deux quantités dépend essentiellement de la composition du rayonnement ; le nombre de lumens par watt est l'*efficacité* du rayonnement considéré. Ce nombre est maximum pour un rayonnement monochroma-

Digitized by Google

tique formé uniquement de la radiation verte 555 $m\mu$, pour laquelle la sensibilité de l'œil est maximum ; l'efficacité est alors de 625 lumens par watt, ou environ 50 bougies par watt. Ainsi, aucune source de lumière ne peut consommer moins de 1/50 de watt par bougie ; le jour où on aura réalisé une source ayant cette consommation, on pourra dire que, sous le rapport du rendement, aucun progrès ne pourra être réalisé dans les appareils producteurs de lumière. D'ailleurs, personne ne voudrait de cette lampe « parfaite » ; elle donnerait une lumière monochromatique, faisant disparaître toutes les différences de couleur des objets, et par suite nous privant de l'un

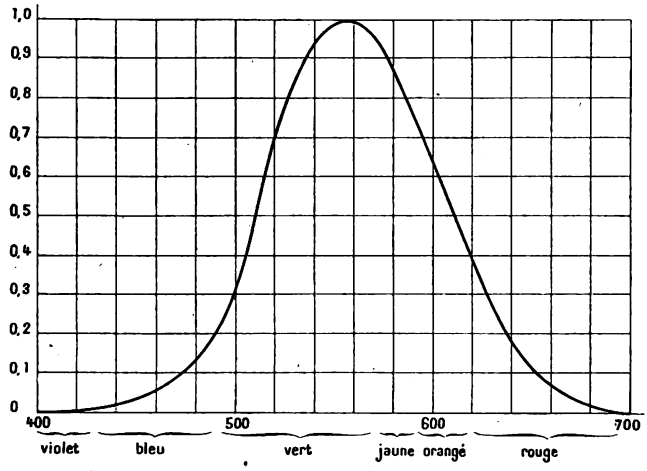


Fig. 3. — Facteur de visibilité en fonction de la longueur d'onde.

des charmes de nos sensations visuelles. La « lumière blanche » contient forcément des radiations diverses, dont l'efficacité visuelle est moindre que celle de la radiation 555 ; l'efficacité visuelle de la lumière blanche est forcément moindre que le chiffre indiqué ci-dessus. Une lumière contenant toutes les radiations visibles dans la proportion où elles entrent dans le rayonnement qui nous vient du soleil, mais sans aucun mélange de radiations invisibles, transporterait un flux d'énergie d'environ 1/20 de watt par bougie ; ce rayonnement serait vraiment le rayonnement idéal pour l'éclairage, et l'on voit que des progrès sont encore possibles dans le rendement des lampes. Le rayonnement solaire lui-même, bien que contenant une forte proportion d'infra-rouge, dépasse en efficacité lumineuse nos lampes les plus parfaites ; il transporte seulement 1/6 de watt par bougie.

Digitized by Google

Ces considérations énergétiques n'ont joué, jusqu'ici, qu'un rôle secondaire dans la photométrie visuelle courante, que l'on continue à faire par la comparaison directe basée sur le jugement de l'œil ; le jour n'est peut-être pas éloigné où cette situation sera renversée, et où l'on arrivera à construire un appareil vraiment pratique, donnant par lecture directe sur un cadran gradué, les éclairements ou les flux lumineux, sans faire intervenir l'estimation plus ou moins sujette à contestation et toujours délicate d'un observateur exercé.

Observations de M. P. JANET

Je tiens tout d'abord à féliciter M. FABRY de sa magistrale communication dans laquelle il a su nous présenter, en une synthèse rapide, tout le vaste ensemble des recherches relatives à la mesure des radiations, recherches auxquelles il a eu lui-même une si grande part. Je voudrais seulement faire observer que M. FABRY me semble avoir été un peu sévère en disant, qu'il y a une trentaine d'années, les méthodes de la photométrie visuelle étaient à peu près les seules en usage. Les méthodes d'exploration du spectre et les mesures de l'énergie des diverses radiations au moyen de la pile thermo-électrique sont bien antérieures à cette époque, et je tiens à rappeler à ce propos les travaux remarquables d'un physicien très distingué du siècle dernier ; Jean-Louis MOUTON, qu'une longue maladie et une mort prématurée empêchèrent de donner toute sa mesure. MOUTON, déjà connu dès 1876-77, par une remarquable étude expérimentale des oscillations électriques, la première faite en France, aborda ensuite, au Laboratoire de Desains, l'étude des radiations. Sans parler de ses mesures des longueurs d'onde dans le spectre calorifique, et en me bornant au point de vue qui nous intéresse, je signalerai une note particulièrement importante qu'il publia en 1879 (1) sur le spectre calorifique normal du soleil et de la lampe à platine incandescent (BOURBOUZE). Dans ce travail, MOUTON indique, avec une netteté remarquable, les corrections à faire aux indications d'une pile thermo-électrique déplacée dans un spectre prismatique, pour les ramener à ce qu'elles seraient dans un spectre de réseau (spectre normal), corrections que ses propres mesures de dispersion prismatique dans le spectre infra-rouge permettaient pour la pre-

(1) *C. R. de l'Acad. des Sciences*, 1879, tome LXXXIX, page 295.

Digitized by Google

mière fois d'effectuer avec précision ; cette méthode, appliquée d'une part au soleil, de l'autre à la lampe Bourbouze au platine incandescent entre des longueurs d'onde variant de 396 à 2 140 $m\mu$, permit de construire, entre ces limites, la courbe des intensités de radiation de ces deux sources, et révéla un maximum dans le spectre solaire pour $\lambda = 560\ m\mu$, et, dans le spectre de la lampe Bourbouze, pour $\lambda = 1\,530\ m\mu$, résultats remarquables pour cette époque. Ces travaux sont antérieurs à ceux de LANGLEY sur le même sujet.

En une autre partie de sa communication, M. FABRY a fait allusion à une mesure possible de l'intensité des radiations par la pression de radiation. Cette pression, extrêmement faible dans le cas de la lumière, prend des valeurs notables dans le cas du son, pour lequel la théorie est à peu près la même. A ce propos, je signalerai une observation peu connue faite en 1773-1774 à Bruxelles par Sir Henri ENGLEFIELD, membre de la Société Royale de Londres. Ce savant observa l'action des cloches de Sainte-Gudule sur un baromètre placé à 2 m de distance ; il obtint, avec une cloche pesant 8 000 kg, des dénivellations de 0,15 à 0,25 millimètres de mercure. Une expérience de contrôle, faite avec le battant immobilisé, ne donna rien. Ces données, toutes grossières qu'elles soient, permettent de calculer la puissance qu'il faudrait supposer rayonnée par la cloche pour expliquer le résultat obtenu : on arrive à une valeur invraisemblable, (environ 230 kW). Il m'a paru néanmoins curieux de rapporter cette observation, qui est citée dans un volume du *Magasin pittoresque*, vers 1851.

Digitized by Google

L'EMPLOI DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LES TRAVAUX SOUTERRAINS DES MINES GRISOUTEUSES[1]

par M. E. AUDIBERT

Ingénieur en chef des Mines, Directeur de la Station d'essais du Comité central des Houillères de France.

Le conférencier expose les conditions spéciales qui régissent l'emploi de l'électricité au fond des mines, c'est-à-dire la présence du grisou et des poussières ; il passe ensuite en revue les possibilités d'application, et il conclut que le risque inhérent à l'emploi des appareils électriques peut être officiellement accepté toutes les fois que ceux-ci sont installés dans un courant d'air à vitesse appréciable.

Ce n'est pas un électricien, Messieurs, mais un mineur, qui se présente devant vous ce soir, et mon intention est d'étudier avec vous, du point de vue particulier de la technique minière, une question qui intéresse à la fois votre spécialité et la mienne, celle des possibilités de développement que l'emploi de l'électricité peut trouver dans les travaux souterrains des mines grisouteuses françaises.

A l'heure actuelle, vous le savez, on ne se sert pas d'électricité, en France, dans les chantiers grisouteux ; on l'utilise au contraire, bien qu'avec modération, en Allemagne, et on en fait un large emploi en Grande-Bretagne et, surtout, aux Etats-Unis. Les singularités de cet état de choses paraissent essentiellement tenir à deux causes, l'une de caractère technique, l'autre de caractère administratif.

1° C'est avant tout dans les chantiers d'exploitation que se fait sentir le besoin de force motrice, et il y a longtemps qu'on s'efforce d'y remplacer le travail à la main par l'abatage mécanique. Les machines qui ont été imaginées à cet effet se ramènent à deux types, haveuses d'une part, marteaux piqueurs de l'autre, et si les premières peuvent tout aussi avantageusement être entraînées à l'électricité qu'à l'air comprimé, les seconds ne se prêtent, de par leur mode de fonctionnement même, qu'à la commande par l'air comprimé. Dans une

---

(1) Communication présentée à la séance de la Société française des Electriciens du samedi 5 mars 1927.

Digitized by Google

couche donnée, on ne peut, par ailleurs, pas mettre en service indifféremment le havage ou l'abatage au marteau ; bien au contraire, le choix à faire entre les deux formules est imposé par les conditions mêmes de gisement, ainsi que j'aurai l'occasion de le préciser au cours de mon exposé. Or, *en règle générale*, les couches exploitées en Grande Bretagne et aux Etats-Unis se prêtent parfaitement au havage, tandis que le marteau piqueur convient seul à celles des bassins du Pas-de-Calais et de la Ruhr. Les exploitants de houille du continent européen se sont ainsi tout naturellement trouvés portés à généraliser l'emploi de l'air comprimé, dont ils ne pouvaient pas se passer pour l'abatage, tandis que les exploitants anglais et américains, ayant la possibilité de choisir, adoptaient de préférence l'électricité, dont l'emploi est évidemment beaucoup plus économique.

2° La réglementation de l'emploi de l'électricité au fond a, d'autre part, évolué de manière différente suivant les pays.

En Amérique, les mesures administratives qui ont pu être prises à cet égard dans certains Etats, — il y en a actuellement encore un bon nombre où la matière ne comporte aucun règlement — sont de date toute récente et de beaucoup postérieure à l'équipement des mines en exploitation. La réglementation n'y a, par conséquent, pas eu d'influence sur le développement de l'électricité.

Il n'en a pas été de même en Europe. Jusqu'à il y a une vingtaine d'années, on y considérait qu'il n'est pas possible de se servir d'électricité en atmosphère inflammable ; les règlements de police français, anglais et allemands en interdisaient donc l'emploi. Les travaux entrepris en 1906 par Beyling, ont montré qu'il n'est pas interdit de faire aux appareils électriques une application de l'artifice qui permet d'employer sans danger, dans le grisou, des lampes à flamme. Ses expériences étaient toutefois essentiellement théoriques et, pour pouvoir tirer parti de leurs résultats, il fallait encore que l'expérience indiquât si, parmi les différentes solutions qu'ils étaient susceptibles d'inspirer, il s'en trouvait qui fussent pratiquement intéressantes.

Cette question était encore très loin d'être résolue, lorsque les circonstances firent, aux environs de 1911, que la plupart des nations européennes remanièrent leurs règlements miniers. Elles s'inspirèrent évidemment, pour ce travail, de leurs principes habituels, et ceux-ci ne sont pas les mêmes partout ; entre la réglementation française et la réglementation britannique, par exemple, il y a une dif-

Digitized by Google

férence du même ordre qu'entre les codes des deux pays, la première formulant des prescriptions, tandis que la seconde se borne, en principe, à sanctionner des situations de fait. Il arriva ainsi qu'en 1911, époque à laquelle il n'existait pratiquement pas d'appareils électriques de sûreté, mais où on pouvait escompter la possibilité qu'il en existe un jour, le règlement français énonça l'interdiction d'utiliser l'électricité au fond, dans tous les cas où l'atmosphère peut contenir du grisou, tandis que le règlement britannique autorisait l'emploi des appareils « construits, installés et entretenus de façon telle qu'au cours de leur utilisation normale il ne puisse pas se produire d'étincelles susceptibles d'allumer le grisou ». De leur côté, les règlements allemands promulgués postérieurement aux travaux de BEYLING ont admis l'emploi dans le grisou des installations électriques qui avaient pu faire l'objet d'autorisations administratives individuelles.

Au total, Messieurs, vous voyez, en passant de France en Allemagne, et de là en Angleterre, puis aux Etats-Unis, les conditions techniques devenir de plus en plus favorables à l'emploi de l'électricité au fond et, simultanément, les restrictions administratives se faire de moins en moins sévères. Vous vous expliquez de la sorte que les constructeurs étrangers, et notamment les constructeurs anglais et américains, aient actuellement réussi à mettre sur le marché des appareils électriques qui paraissent présenter, vis-à-vis du grisou, des garanties de sécurité tout à fait satisfaisantes.

Veuillez d'ailleurs bien noter que le fait n'a pas échappé à l'Administration française et ne l'a pas laissée indifférente. Du jour où elle reconnut que la situation n'était plus celle qui avait inspiré le règlement de 1911, elle entreprit d'étudier les modifications qu'il peut convenir d'apporter à ce dernier. Le travail auquel elle se livre à cet égard est actuellement en cours, et les conclusions auxquelles il aboutira ne peuvent, de toute évidence, manquer d'ouvrir aux constructeurs français des débouchés nouveaux.

Que seront ces derniers ? En d'autres termes, quels sont les appareils dont les mines peuvent avoir besoin, et à quelles conditions vont-elles demander qu'ils satisfassent ? C'est là ce que je vous propose d'examiner avec moi.

Digitized by Google

I. — CARACTÈRE SPÉCIAL DES CONDITIONS D'EMPLOI DE L'ÉLECTRICITÉ AU FOND

Pour le faire utilement, il me paraît nécessaire de vous dire d'abord un mot du caractère spécial des dangers auxquels les mines de houille ont à faire face.

Grisou et poussières

Chaque mode de l'activité humaine comporte, pour ceux qui y participent, un certain nombre de risques. Par exemple, dans une exploitation souterraine, quelle qu'elle soit, les accidents susceptibles de se produire sont ceux qui résultent des éboulements, des chutes de blocs, du roulage, de la circulation dans les puits, de la manipulation des explosifs, etc... Deux autres dangers se rencontrent en outre dans les houillères, qui, ceux-là, ne se manifestent pas de manière fortuite et accidentelle, mais constituent au contraire une menace systématique, à laquelle doit être opposée une organisation de sécurité permanente : le grisou et les poussières.

1° *Grisou*

On désigne communément sous le nom de grisou un gaz, dont le constituant essentiel, sinon exclusif (1), est le méthane CH^4, et qui se dégage, aussi bien de la plupart des couches de houille que des roches qui les encaissent.

Quelles sont les lois qui règlent ce dégagement ? Nous les ignorons de manière à peu près complète : dans certains cas, heureusement exceptionnels, on voit se produire des émissions brusques qui libèrent, en quelques minutes, des volumes extrêmement élevés, susceptibles d'atteindre quelques milliers de mètres cubes, et qui s'accompagnent en général de mouvements de terrain plus ou moins importants ; plus fréquents sont les jaillissements localisés, à débit relativement considérable, de l'ordre, par exemple, de quelques centaines de litres par minute, dont la durée peut varier entre des limites extrêmement considérables, quelques heures ou plusieurs années ; le cas le plus courant, enfin, est celui du suintement généralisé et continu, non seule-

1) Il contient souvent des traces d'azote ; on y a parfois signalé aussi des traces d'hydrogène mais le fait n'a jamais pu être établi avec certitude.

Digitized by Google

ment par les fronts de taille en exploitation, mais encore par les épontes des zones déjà déhouillées et par les parois des galeries.

Le grisou est un gaz combustible et, pour l'objet qui nous occupe ici, celles de ses propriétés qu'il y a lieu de retenir sont celles qui concernent : d'une part, l'inflammation des mélanges d'air et de grisou ; d'autre part, la propagation par un mélange d'air et de grisou d'une inflammation amorcée en un de ses points.

On peut les résumer brièvement comme suit :

a) Inflammation. — Considérons un mélange d'air et de grisou dont on élève graduellement la température, en le chauffant de manière telle que la température ait, à tout instant, la même valeur en tous les points du mélange. On constate, dans ces conditions, que, pour une valeur donnée de la température, dite « température d'inflammation », le mélange devient le siège d'une réaction vive, qui s'accompagne de la production d'une flamme. La température d'inflammation est d'ailleurs, à peu de chose près, indépendante de la proportion du grisou dans le mélange ; sous la pression ordinaire, elle est de l'ordre de 650°C.

En d'autres termes, tous les mélanges grisouteux, sans exception, sont inflammables.

b) Propagation. — Ils ne sont, par contre, pas tous aptes à propager la combustion : si, en effet, dans un mélange d'air et de grisou, placé dans les conditions normales de température et de pression, un échauffement local amorce en un point une inflammation, on ne voit la combustion se propager dans le mélange que si celui-ci satisfait à certaines conditions. En toute rigueur, la définition scientifique de ces dernières nous échappe et nous ne les connaissons qu'avec une certaine approximation, d'ailleurs largement suffisante pour les besoins de la pratique ; à ce degré de précision, elles s'énoncent en disant que, seuls, sont susceptibles de propager une inflammation, les mélanges d'air et de grisou, dans lesquels la proportion du grisou est comprise entre deux limites, qui sont de l'ordre, l'une de 6 pour cent, l'autre de 15 pour cent.

Vous retiendrez de là, Messieurs, que si, dans une galerie souterraine, la teneur de l'atmosphère en grisou s'élève jusqu'à atteindre 6 pour cent, il suffira de faire agir en un de ses points une cause d'inflammation du grisou, pour que la combustion s'étende de proche en proche jusqu'à affecter la totalité du mélange, en produisant les

Digitized by Google

effets thermiques et mécaniques auxquels donnent lieu la libération de la chaleur dégagée par la réaction et la dilatation qui en résulte pour les fumées. On assistera ainsi au phénomène redoutable que les mineurs appellent le « coup de grisou ».

2° *Poussières*

Un autre danger les menace encore d'ailleurs, celui du « coup de poussières ».

Dans les galeries et les chantiers des mines de houille, le sol est recouvert et les parois sont tapissées d'une couche de poussières qui peuvent être plus ou moins fines, plus ou moins abondantes, mais qui, en règle générale, se rencontrent dans tous les ouvrages. Ces poussières, étant essentiellement constituées de particules charbonneuses, sont évidemment combustibles, et l'expérience a montré que, dans la plupart des cas, elles sont capables de propager la combustion. On s'explique d'ailleurs aisément qu'il en soit ainsi si l'on tient compte du fait que, lorsqu'une explosion de poussières se développe dans un réseau de galeries, la dilatation des fumées provoque un refoulement de l'air à partir des foyers de combustion, de sorte que la flamme est précédée par une chasse, qui soulève les poussières en dépôt sur les parois et les maintient en suspension dans l'air ; elle se propage ainsi dans un nuage poussiéreux, qui constitue un milieu éminemment apte à l'entretenir.

Malgré qu'on en connaisse au moins un exemple, le cas où une installation électrique pourra déclancher un coup de poussières semble devoir être tout à fait exceptionnel. Mais il est tout à fait classique qu'un coup de grisou, qui peut, lui, être allumé par une étincelle électrique, amorce un coup de poussières. Vous comprendrez par conséquent que, dans les raisonnements que je vais avoir à développer devant vous, je tienne compte de celui-ci aussi bien que de celui-là.

3° *Les mesures de sécurité.*

La gravité des dangers qu'ils constituent l'un et l'autre est évidente ; il peut néanmoins être utile de la concrétiser par quelques exemples ; dans cet ordre d'idées, je me bornerai à vous citer les chiffres suivants, qui sont assez éloquents pour se suffire à eux-mêmes :

Le 10 mars 1906, à Courrières, un coup de poussières s'est propagé sur 115 km de galeries ; le 6 décembre 1907, à Monongah, 161 km de

Digitized by Google

galeries ont été ravagées par une explosion de même nature... Si vous observez qu'il y a 131 km de Paris à Amiens, 156 de Paris à Reims, vous vous rendrez compte, d'après cela, de l'ampleur qu'un coup de poussières est susceptible de prendre et de la gravité de la catastrophe qu'il peut causer. Vous comprendrez du même coup que l'organisation des mesures de sécurité constitue l'une de nos préoccupations les plus essentielles:

Celles qu'on met en œuvre dans les houillères, tant françaises qu'étrangères, s'inspirent d'un principe fondamental, que nous appelons « de la superposition des sécurités » et dont la raison d'être est la suivante :

Quelles que soient les circonstances dans lesquelles elle prend naissance, une explosion exige, pour se produire, la concomittance d'au moins deux événements indépendants l'un de l'autre, qui sont, en principe, l'intervention d'une cause d'inflammation et l'existence, autour du point où elle est mise en œuvre, d'un milieu apte à propager la combustion qu'elle amorce. Sa probabilité est par conséquent égale au produit des probabilités respectives des événements en question. Le principe de la superposition des sécurités consiste à prendre, *séparément*, les mesures nécessaires pour réduire à la plus petite valeur possible *chacune* de ces différentes probabilités.

Je pourrais me contenter de formuler cette règle.

Elle a toutefois une importance telle que je crois devoir ne pas me borner à l'énoncer, mais au contraire vous en fournir la justification. Celle-ci réside dans le fait que, parmi les événements dont la concomittance est la condition de l'explosion, il n'en est jamais aucun pour lequel il soit possible de faire en sorte que sa probabilité soit *rigoureusement nulle*. Vous vous en rendez compte aisément en analysant un exemple concret, celui de l'inflammation du grisou par un appareil électrique.

Pour qu'on observe une telle inflammation, il faut :

d'une part, que l'atmosphère dans laquelle est placé l'appareil considéré contienne au moins 6 pour cent de grisou ;

d'autre part, qu'une flamme puisse sortir du carter à l'intérieur duquel elle a pris naissance.

Examinons séparément chacune de ces deux conditions :

1° *Formation d'une atmosphère à 6 pour cent au moins de grisou.* — On combat la tendance qu'a l'atmosphère d'une mine à s'enrichir en grisou en maintenant en circulation permanente, dans ses diffé-

Digitized by Google

rents ouvrages, un volume d'air suffisant pour entraîner le gaz, au fur et à mesure qu'il apparaît, en le diluant.

En fait, le débit de ce courant est toujours centuple au moins du dégagement grisouteux normal. Cela ne suffit toutefois pas à rendre impossible la formation, en tel ou tel point d'une mine, d'un mélange apte à la propagation :

1° Indépendamment du dégagement continu et généralisé, la possibilité subsiste en effet, à tout moment et en tout point, que se produise un dégagement localisé de débit élevé. Compter avec elle n'est d'ailleurs pas seulement une précaution bonne à prendre, mais constitue au contraire une nécessité inéluctable, les exemples étant très nombreux d'explosions qui ont eu pour origine l'apparition intempestive, en un point de la mine, d'un volume considérable de grisou : le plus récent est sans doute celui de la mine Holland, où le 31 octobre 1925, une étincelle de trolley a allumé un paquet de grisou qui s'était dégagé brusquement, un quart d'heure ou vingt minutes auparavant, dans des travaux situés 120 mètres plus bas, et que le courant d'air entraînait vers le puits de retour.

2° Si, d'autre part, il est facile d'introduire par le puits d'entrée un certain débit d'air et de l'extraire par le puits de retour, il l'est incomparablement moins de faire en sorte que le courant ainsi créé balaie efficacement tous les ouvrages d'une mine : Ceux-ci sont en effet établis en dérivation entre deux galeries entre lesquelles le ventilateur maintient une différence de pression invariable ; leur ensemble forme un réseau compliqué et ramifié, dont les éléments comportent des pertes de charge qui, très différentes, en règle générale, de l'un à l'autre, varient en outre, pour chacun d'eux, au fur et à mesure du développement des travaux.

Un réglage est donc nécessaire pour assurer, à un moment donné, la répartition correcte du courant d'air entre les ouvrages à ventiler ; on le réalise au moyen de résistances, constituées par des toiles ou des portes, qu'on place sur les circuits les plus ouverts. Ce réglage, qui est toujours minutieux et difficile, est en outre à la merci d'un incident impossible à prévoir ou encore d'une négligence ou d'une fausse manœuvre du personnel : il suffit, par exemple, qu'un éboulement se produise quelque part ou bien qu'un ouvrier arrache une toile dont il juge que la présence le gêne ou néglige de fermer une porte qui doit l'être pour que le régime d'aérage de toute une série d'ouvrages se trouve modifié.

Digitized by Google

En l'absence d'éventualités de ce genre, d'ailleurs, ce régime est de lui-même instable, la progression des chantiers ayant pour effet de modifier de manière différente les résistances propres des différents circuits partiels.

3° Il convient de noter, enfin, que l'ensemble des parois des ouvrages d'une mine constitue, toujours et inévitablement, une surface présentant de très nombreux rentrants : l'atmosphère des anfractuosités que ceux-ci définissent, ne participe pas au mouvement général de circulation de l'air, quel que soit le débit que celui-ci comporte et ne se renouvelle que par diffusion, c'est-à-dire avec une extrême lenteur : les cloches du toit, les angles morts des chapeaux du boisage, les avancements en flèche, les gradins renversés des fronts de taille, les têtes de plans, constituent donc autant de niches à grisou. Sans doute, chacune d'elles n'a en général qu'un assez faible volume ; mais, que la dilatation des fumées que produit la combustion de l'une d'elles pousse la flamme jusqu'à la voisine et l'allume, que le même phénomène se répète deux ou trois fois, et cela pourra suffire à déclencher un coup de poussières.

Pour ne pas abuser de votre temps, j'ai dû, Messieurs, schématiser et abréger l'analyse à laquelle je viens de me livrer ; si incomplète qu'elle soit, elle doit néanmoins, me semble-t-il, vous démontrer que, quelques mesures que nous prenions, nous n'avons jamais le droit de considérer comme rigoureusement nulle la probabilité que la teneur de l'atmosphère en grisou atteigne et dépasse localement 6 pour cent. Vous allez voir maintenant qu'une incertitude du même genre subsiste en ce qui concerne la production, par une installation électrique de sûreté, d'une étincelle susceptible d'amorcer un coup de grisou.

2° *Allumage du grisou par une installation électrique de sûreté.* — Si nous laissons de côté, malgré qu'il se puisse parfaitement rencontrer, le cas où l'un des éléments de l'installation présente un vice de construction qui a échappé lors de la réception, l'emploi de l'électricité en atmosphère grisouteuse comporte trois risques qui paraissent plus particulièrement graves :

1° En règle générale, les appareils et l'outillage employés au fond sont exposés à une détérioration rapide : l'atmosphère est chaude et humide, l'obscurité est une cause de fausses manœuvres, enfin, le matériel est entre les mains d'un personnel dont la psychologie se

Digitized by Google

rapproche beaucoup plus de celle du terrassier que de celle de l'ajusteur, et qui le traite durement. Il y a par conséquent toujours lieu de craindre que des appareils qui étaient de sûreté à l'état neuf aient cessé de l'être après un fonctionnement d'une certaine durée.

2° La sécurité repose, d'autre part, si l'on peut se contenter de cette image rudimentaire, sur l'ajustement correct d'un couvercle sur une boîte. Or, ce couvercle est mobile et des incidents d'exploitation ne manqueront pas, de temps à autre, d'en rendre le démontage nécessaire. En pareil cas, on doit toujours craindre que le remontage n'ait pas été fait correctement : de 1922 à 1925, on a enregistré en Grande-Bretagne trois inflammations de grisou par des étincelles électriques qui ont pu être attribuées à cette cause.

3° Enfin, toute installation électrique comporte des câbles ; ceux-ci sont placés dans des ouvrages où des éboulements et des mouvements de terrain sont toujours à craindre, où un coup de pic ou de hache peut toujours être donné maladroitement par un ouvrier travaillant à la lueur insuffisante d'une lampe, où des déraillements de berlines se produisent de manière normale, susceptibles d'arracher les cadres qui servent de support aux câbles. Malgré tout le soin qu'on pourra apporter à armer solidement ces derniers, leur rupture est par conséquent une éventualité toujours possible ; elle s'accompagnera inévitablement d'un arc.

Au total, Messieurs, vous comprendrez, après cet exposé, que nous attachions au principe de la superposition des sécurités une importance de tout premier ordre et que nous en fassions systématiquement application en toutes circonstances. Vous vous expliquerez dès lors une manière de voir, dont la raison d'être aurait pu vous échapper si je ne vous avais pas donné les explications qui précèdent, et qui est la suivante :

Vous allez nous apporter des appareils antigrisouteux ; ils auront été préalablement étudiés et éprouvés et on aura reconnu que leur sécurité ne fait pas de doute. Malgré cela, nous nous préoccuperons, avant de les employer, d'estimer le risque inhérent aux conditions dans lesquelles ils pourront être mis en service, et la gravité de ce risque conditionnera le parti que nous en tirerons. En d'autres termes, le problème des applications que l'électricité est susceptible de trouver dans les travaux souterrains des mines de houille n'est pas simplement un problème d'utilisation de force motrice ; c'est encore, et avant tout, un problème de grisou.

Digitized by Google

D'autant plus, d'ailleurs, que l'électricité ne nous apportera pas un moyen d'action qui nous manque ; nous disposons déjà, au fond, d'énergie mécanique, sous forme d'air comprimé, et c'est là un agent souple et commode, qui n'a pas d'autre inconvénient que celui d'être coûteux ; sur l'arbre d'un moteur à air comprimé, on retrouve le cinquième environ du travail dépensé pour entraîner le compresseur ; l'électricité a un rendement quatre fois plus grand en moyenne ; la substitution de la seconde au premier permet donc de faire, au jour, une économie de l'ordre de 3,75 chevaux par cheval employé au fond.

En fin de compte, donc, le problème que nous avons à examiner se pose à nous de la manière suivante :

Dans quels cas le risque supplémentaire que comporte, *malgré tout*, l'emploi de l'électricité est-il assez faible pour qu'on puisse envisager de faire l'économie que je viens de définir ?

Je vais, pour le traiter, passer en revue les différents services du fond.

II. — LES POSSIBILITÉS D'APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ AU FOND

1° Abatage

La méthode d'abatage à mettre en œuvre dans une couche dépend essentiellement de ses caractéristiques.

Quand son charbon est relativement tendre, les meilleurs outils dont on puisse se servir pour l'arracher sont des outils percutants ; je vous ai déjà signalé qu'ils ne se prêtent en aucune manière à la commande par l'électricité.

Quand le charbon est dur et compact, les marteaux piqueurs ne conviennent plus, et il faut se servir, soit d'explosifs, soit de haveuses, soit des deux simultanément. Les haveuses présentent, en ce qui concerne le rendement de la main-d'œuvre, d'incontestables et très précieux avantages. Mais leur emploi exige des conditions de gisement assez spéciales :

1° Il est désirable que la couche ne soit pas trop inclinée. La haveuse, dont le poids est de l'ordre de 2 à 3 tonnes, est en effet accrochée à un câble amarré à la partie supérieure de la taille ; la probabilité que ce câble se rompe et la gravité des conséquences qui peuvent en résulter augmentent évidemment avec l'inclinaison de la couche.

2° Il est nécessaire que le toit soit solide. D'une part, en effet, l'em-

Digitized by Google

ploi d'une haveuse dans une taille est de nature à y accroître notablement le risque des éboulements ; or, ce sont là des accidents dont les suites sont généralement graves et qu'il importe au plus haut point d'éviter. D'autre part, il convient d'empêcher que le gain de rendement dû au havage, soit compensé par la perte de temps considérable qu'entraîne la remise en ordre de marche d'une taille où un éboulement s'est produit.

3° Il est indispensable enfin que la couche soit régulière : Une haveuse ne peut, en effet, franchir ni les rejets, ni les bosses du mur ; on ne peut par suite haver que dans des tailles susceptibles de battre tout leur champ sans rencontrer d'accidents de ce genre. Il n'y a d'autre part, avantage à hâver, à cause des pertes de temps que comporte le changement de travée, que dans les tailles ayant une longueur de l'ordre de 50 mètres au moins. Ces deux conditions impliquent que le gisement comporte des surfaces de l'ordre de l'hectare sans le moindre décrochement de la stratification, c'est-à-dire soit d'une extrême régularité.

Au total, les couches régulières, peu inclinées, à toit solide, et dont le charbon est compact, se prêtent seules au havage. De telles couches se rencontrent assez fréquemment en Grande-Bretagne et couramment aux Etats-Unis ; aussi le tonnage abattu par havage représente-t-il dans ces deux pays respectivement 20 pour cent et 70 pour cent de la production totale. Elles sont par contre tout à fait rares en France ; il ne faut par conséquent pas compter que les haveuses trouvent dans nos houillères autre chose qu'un développement étroitement limité.

Ce point acquis, vous observerez que « havage » ne signifie pas nécessairement « havage électrique », une haveuse pouvant être actionnée aussi bien par l'air comprimé que par l'électricité. Sans doute, la puissance nécessaire étant de l'ordre d'une cinquantaine (1) de chevaux par appareil, l'électrification entraîne-t-elle une économie qui est de l'ordre de 180 à 190 chevaux, c'est-à-dire qui est considérable. Mais, en regard de cet avantage, il faut noter :

1° que la haveuse est, sans conteste, le moins sûr des appareils électriques, à cause de son câble souple, mal protégé contre les éboulements et condamné à être rompu par toute mise en dérive de la haveuse, à cause de la fréquence des démontages qu'exige la rapi-

(1) Dont 40 pour la haveuse et 10 pour son convoyeur.

Digitized by Google

dité avec laquelle se détériore et s'encrasse une machine qui travaille dans des conditions exceptionnellement dures et qui en outre produit énormément de poussière ;

2° que les tailles en exploitation constituent précisément l'un des points de la mine où le risque d'une élévation anormale de la teneur en grisou est maximum.

Pour ces deux raisons, les houillères seront amenées, dans bien des cas, à préférer la haveuse à air comprimé, malgré qu'elle soit beaucoup plus coûteuse. Les statistiques britanniques accusent nettement cette manière de voir :

En 1916, le tonnage havé représentait 10,3 pour cent du tonnage abattu en Grande-Bretagne et, sur 100 haveuses employées, 46 seulement étaient électriques.

En 1925, la proportion du tonnage havé était de 19,8 pour cent, soit sensiblement double ; sur 100 haveuses employées, il n'y en avait pourtant que 47 qui fussent électriques.

La discussion qui précède comporte donc la conclusion suivante : Les conditions requises pour le havage ne se rencontrent que rarement dans les mines françaises ; parmi les quelques cas où elles peuvent être vérifiées, il ne manquera pas de s'en trouver pour lesquels le souci de la sécurité fera préférer la commande à l'air comprimé à la commande électrique.

2° Transport en taille

Dans les couches puissantes exploitées par tranches horizontales, les berlines viennent jusqu'au front de taille. Dans les autres, le transport mécanique n'est intéressant que si la taille a plus d'une quinzaine de mètres de longueur ; il n'exige d'ailleurs aucune puissance quand la pente atteint ou dépasse une valeur de l'ordre de 30°.

On ne fait, d'après cela, de transport mécanique en taille que dans les couches peu inclinées et régulières, — car c'est dans ces dernières seulement qu'on peut ouvrir des tailles de grande longueur —. Deux outils peuvent être employés pour cela :

les couloirs oscillants, adaptés à la commande par air comprimé ;

les convoyeurs, qui peuvent être commandés aussi bien à l'air comprimé qu'à l'électricité.

Les transports de ce genre n'exigent d'ailleurs que des puissances assez faibles, trop petites le plus souvent pour justifier les dépenses,

Digitized by Google

assez élevées, qu'entraîne l'installation d'une ligne. En principe donc, les appareils électriques de transport ne peuvent guère trouver d'application que dans les tailles où les outils d'abatage sont eux-mêmes mus électriquement ; leur emploi semble, de ce fait, devoir être assez limité.

Quoi qu'il en soit de ce point, vous noterez que les convoyeurs ne demandent que des moteurs d'une dizaine de chevaux.

3° Roulage

Les berlines chargées au pied des tailles effectuent au fond, des parcours qui comprennent :

d'une part, des plans inclinés et des bures ;

d'autre part, des galeries horizontales.

Nous examinerons successivement ces deux sortes d'ouvrages.

a) Plans inclinés et bures. — Les treuils de desserte des plans et des bures ont, en règle générale, des puissances de l'ordre de :

15 à 20 chevaux pour les premiers ;

50 à 60 chevaux pour les seconds.

Leur électrification comporte donc une économie de l'ordre de 60 chevaux pour un plan et de 200 chevaux pour un bure.

Du point de vue de la sécurité, cette électrification présente les particularités suivantes :

Quand le treuil est à l'étage d'entrée d'air, il est possible d'assurer, de manière tout à fait satisfaisante, la ventilation de sa chambre ; sa commande électrique ne comporte alors qu'un risque tout à fait minime.

Il n'en est pas toujours de même quand le treuil est à l'étage de retour ; dans ce cas, en effet, sa chambre peut former une cloche dont l'atmosphère se renouvelle mal et où il est par conséquent contre-indiqué d'installer un appareil électrique.

A l'heure actuelle, on place en général les treuils des plans et des bures au niveau supérieur des exploitations qu'ils desservent. Si on admet, à titre d'approximation grossière, qu'il y a intérêt à prendre par le niveau de tête le tiers de chaque étage, on peut, par conséquent, compter que le tiers environ des moteurs de treuils et de bures en service dans les houillères françaises se trouve d'ores et déjà sur des entrées d'air, c'est-à-dire dans des conditions tout à fait favorables à l'électrification. Pour les autres, il y en a très vraisemblablement

Digitized by Google

un bon nombre que l'emploi de câbles sans fin doit permettre de faire descendre de l'étage de retour à l'étage d'entrée, ou qu'un aménagement convenable de leur chambre doit permettre de ventiler efficacement. De sorte que, dans l'ensemble, l'équipement des plans et des bures, — lequel nécessite, je le rappelle, des moteurs de 15 à 60 chevaux, — offre certainement au développement des appareils électriques de larges possibilités.

b) Galeries horizontales. — Les trains de berlines sont remorqués, dans les voies horizontales, par des câbles sans fin ou par des locomotives.

Les câbles sans fin, très en faveur en Angleterre, ne conviennent qu'aux parcours relativement faibles et leur emploi ne s'est à peu près pas répandu en France. Les observations, faites tout à l'heure au sujet des moteurs de treuils et de bures, s'appliquent d'ailleurs aux moteurs de câbles sans fin.

Les locomotives, — si l'on fait abstraction des locomotives à essence, interdites en France —, peuvent être :

soit des locomotives à air comprimé, dont le châssis porte un réservoir à haute pression ;

soit des locomotives à trolley ou à accumulateurs.

Ces trois types paraissent devoir donner lieu aux observations suivantes :

1° *Prix de revient.* — Les renseignements comparatifs, assez peu nombreux à la vérité, qu'on possède sur le prix de revient, semblent faire ressortir :

que la machine à trolley et la machine à accumulateurs font très sensiblement la même consommation d'énergie, comprise entre le tiers et le quart de la consommation de la machine à air comprimé ;

que la charge d'amortissement et les frais d'entretien, par tonne kilométrique utile, sont à peu près les mêmes pour le trolley et l'air comprimé, et plus élevés, pour la locomotive à accumulateurs, de 50 pour cent environ pour ce qui concerne l'amortissement, et de 100 à 200 pour cent pour ce qui concerne l'entretien.

Au total, le prix de revient par tonne kilométrique utile, étant compté à 1 pour la locomotive à trolley; serait de l'ordre de 1,5 pour les deux autres types de machines.

2° *Conditions d'emploi.* — La locomotive à trolley a, sur les deux

Digitized by Google

autres, l'avantage de se beaucoup mieux prêter aux roulages à grand débit ; elle constitue, par excellence, la locomotive des travers-bancs à grande vitesse de circulation.

La locomotive à accumulateurs a, sur la locomotive à air comprimé, l'avantage d'un moindre encombrement ; elle circule ainsi beaucoup plus aisément dans les galeries en couche dont le tracé n'est pas toujours régulier et son emploi se caractérise par une extrême souplesse, qui constitue une qualité tout à fait précieuse.

3° *Sécurité.* — Les voies où les locomotives peuvent être appelées à circuler sont, en principe, les mieux aérées de la mine et le risque qu'une accumulation de grisou s'y forme quelque part est *à priori* très faible. Du point de vue de la sécurité, donc, on peut considérer que les locomotives à accumulateurs et les locomotives à air comprimé sont pratiquement équivalentes.

Quant aux locomotives à trolley, elles ne comportent aucun organe de nature à rendre inoffensives les étincelles auxquelles leur fonctionnement donne lieu ; on ne peut, par conséquent, envisager de les mettre en circulation que dans des ouvrages où le grisou ne risque absolument pas de se rencontrer : tel est souvent le cas pour les grands travers-bancs d'entrée d'air. Le règlement français actuel autorise d'ailleurs leur emploi dans ces conditions ; ses dispositions à cet égard n'ont toutefois pas toujours été comprises de la même manière et paraissent, dans l'ensemble, avoir été interprétées plutôt étroitement.

4° *Conclusion.* — Pour tirer de ces observations une conclusion, il convient de signaler que, de toute évidence, on n'emploiera pas simultanément, dans le même siège, la traction électrique et la traction à air comprimé. Trois formules paraissent donc possibles :

emploi exclusif de l'air comprimé ;

emploi exclusif des accumulateurs ;

emploi combiné du trolley et des accumulateurs, le trolley étant limité aux voies de grand roulage qui sont en communication directe avec le puits d'entrée d'air.

Les deux premières sont sensiblement équivalentes, au point de vue, tant du prix de revient que de la sécurité ; la seconde paraît toutefois devoir l'emporter sur la première en raison de sa plus grande souplesse.

La troisième formule est à la fois la moins coûteuse et la mieux

Digitized by Google

adaptée à une extraction intensive ; elle exige toutefois une police sévère des voies à trolley.

De toute façon, il semble bien que la locomotive électrique de sûreté à accumulateurs doive trouver dans les houillères un champ d'application intéressant.

4° Aérage secondaire

Les ouvrages en cul-de-sac, et notamment les galeries de reconnaissance et de préparation, sont aérés, soit par des injecteurs à air comprimé, soit, le plus souvent, par des ventilateurs qui travaillent sur des conduites poussées jusqu'au front de taille. Ces ventilateurs ont une puissance de l'ordre, en général, d'une dizaine de chevaux au plus, qui peut exceptionnellement atteindre 15 chevaux pour le fonçage des grands travers-bancs. Leur électrification ne présente pour cette raison qu'un intérêt secondaire. Elle ne peut, d'autre part, ne pas présenter d'inconvénient pour la sécurité que si le ventilateur est soufflant et isolé du retour de l'avancement.

Il pourra arriver assez fréquemment qu'il en soit ainsi. L'aérage secondaire n'en offre pas moins à l'électricité que des applications assez limitées.

5° Exhaure

Les pompes d'une mine se rangent en deux catégories :

les pompes principales qui refoulent dans des colonnes installées dans les puits et absorbent des puissances considérables, de l'ordre de 100 à 200 chevaux ;

les pompes auxiliaires, employées pour assécher l'avancement des descenderies en fonçage, qui ne demandent en général que des puissances de 10 à 20 chevaux.

L'électrification des pompes auxiliaires ne présente, dans la plupart des cas, pas d'inconvénient, grâce au fait qu'elles se trouvent, en principe, toujours à l'étage d'entrée d'air.

Quant aux pompes principales, elles refoulent pour la plupart dans les puits d'entrée et sont, dans ce cas, commandées par des moteurs électriques ordinaires. Dans certains sièges à aérage diagonal, il peut toutefois y avoir intérêt à installer des colonnes de refoulement dans les puits de retour ; l'emploi de la commande électrique paraît d'ailleurs ne pas devoir présenter, dans ce cas, d'inconvénient au point

Digitized by Google

de vue de la sécurité ; l'épuisement par les puits de retour fournit donc d'intéressantes possibilités d'utilisation de moteurs anti-grisouteux de grande puissance.

6° Emplois divers

Certaines applications secondaires, enfin, présentent pour les mines, un certain intérêt ; dans cet ordre d'idées, il y a lieu de mentionner spécialement les appareils de signalisation et les téléphones, ainsi que l'éclairage fixe des recettes et de certaines grandes voies de roulage.

7° Résumé

En résumé, Messieurs, nous avons, dans l'examen auquel nous venons de nous livrer, rencontré, pour les applications de l'électricité dans les houillères françaises, les possibilités suivantes :

1° L'électricité peut être employée :

dans la plupart des cas, pour la commande des pompes auxiliaires ;

souvent, sinon toujours, pour la commande des traînages ainsi que des treuils de plans et de bures ;

dans certains cas, pour la commande des ventilateurs secondaires.

Ces diverses applications comportent l'emploi de moteurs dont la puissance ne devra, en principe, pas dépasser une soixantaine de chevaux ; parmi elles, la plus intéressante est à coup sûr celle qui concerne les moteurs de treuils et de bures.

2° De leur côté, les locomotives de sûreté à accumulateurs trouveront vraisemblablement aussi des applications intéressantes, qu'elles soient employées seules ou en combinaison avec des machines à trolley.

3° Les installations d'exhaure par les puits de retour d'air pourront fournir certaines occasions d'employer des moteurs antigrisouteux d'assez grande puissance.

4° Il n'est nullement impossible, enfin, que quelques occasions se rencontrent de mettre en service des haveuses électriques, mais il est vraisemblable qu'elles demeureront assez rares.

Les constructeurs de matériel électrique, pour se créer des débouchés auprès de nos houillères, ont, d'après cela, à leur présenter *principalement* deux catégories d'appareils, savoir :

d'une part, des locomotives à accumulateurs ;

Digitized by Google

d'autre part, des moteurs, avec les accessoires qu'ils comportent, interrupteurs, disjoncteurs, contrôleurs, etc...

Pour ce qui est des locomotives à accumulateurs, il ne semble pas que les modèles qu'on en imaginera puissent, en ce qui concerne les organes de protection, différer essentiellement les uns des autres ; tous ceux qu'on rencontre à l'étranger paraissent être très sensiblement établis sur le même principe et comporter deux moteurs à carter clos.

Pour ce qui est des moteurs, ceux dont les houillères ont l'emploi sont tous, à la seule exception des gros moteurs d'exhaure, des engins de faible puissance. J'appelle votre attention, Messieurs, sur l'intérêt qu'il y a à adopter, pour leur construction, la formule du carter clos. C'est incontestablement la meilleure : pour un matériel qui doit être mis entre les mains d'un personnel non spécialisé et travailler dans une atmosphère poussiéreuse, le joint d'échappement et, plus encore, la fenêtre protégée par un empilage de plaquettes constituent, en effet, des points faibles de l'enveloppe ; il faut les écarter toutes les fois, — et c'est le cas pour les moteurs dont la puissance ne dépasse pas une cinquantaine de chevaux —, que leur emploi n'est pas indispensable pour assurer la ventilation des enroulements. Vous réserverez donc aux seuls gros moteurs les fenêtres protégées et vous adopterez sans hésitation pour tous les autres, l'enveloppe complètement close : les constructeurs étrangers y sont progressivement venus ; vous mettrez à profit les enseignements de leur expérience.

III. — Conclusion

Il me reste maintenant à conclure. Je le ferai comme suit :

Il existe aujourd'hui un matériel électrique auquel on applique, à bon droit, la dénomination d'antigrisouteux. Les mineurs reconnaissent ses qualités, mais une expérience douloureuse leur a enseigné qu'il n'y a pas de sécurité absolue, et qu'un appareil sûr est celui pour lequel la probabilité qu'il provoque une explosion de grisou, est réduite à une valeur, très faible, certes, mais non nulle. Voyez nos lampes à flamme, Messieurs ; depuis près d'un siècle, des centaines de milliers d'ouvriers les utilisent dans des chantiers grisouteux ; le nombre des accidents qu'elles ont causés apparaît comme infime quand on le rapproche du nombre des postes qu'elles ont faits.

Digitized by Google

Mais il n'est pas nul... La même chose se passera avec les appareils électriques de sûreté.

Nous ne pouvons donc pas moins faire qu'entourer de toutes les précautions possibles, l'introduction dans nos chantiers d'un matériel qui, quoi qu'on veuille, constitue une nouvelle cause d'inflammation. Une formule concise me paraît pouvoir définir le principe de celles que nous aurons à prendre : elle consiste à dire que le risque inhérent à l'emploi des appareils électriques protégés peut être facilement accepté toutes les fois que ces appareils sont installés dans des ouvrages dans lesquels il y a, à proprement parler, un « courant d'air » permanent, à vitesse appréciable. Nous mettrons donc volontiers des moteurs dans les galeries de roulage ; nous éprouverons beaucoup plus de répugnance à en installer dans les tailles ou à leur voisinage immédiat. La discrimination nous sera d'ailleurs d'autant plus aisée à faire que, pour les mines françaises au moins, les cas où l'emploi de l'électricité en taille peut être avantageux constituent l'exception.

Je pense que ces explications vous auront clairement rendu perceptible notre manière de voir et que vous n'éprouverez désormais plus d'hésitation sur nos besoins en matière d'électricité. Pour éviter tout malentendu, je crois toutefois devoir ajouter un mot encore :

L'électricité a, par rapport à l'air comprimé, l'avantage d'un prix de revient sensiblement moindre. Dans une mine nouvelle, il n'est par conséquent pas douteux qu'on la préfère toutes les fois qu'il sera possible de l'employer. La question de son introduction dans des mines déjà équipées à l'air comprimé peut toutefois se présenter de manière un peu différente, qui variera d'ailleurs d'un cas à l'autre suivant que les installations à l'air comprimé se trouvent déjà plus ou moins amorties et qu'une fraction plus ou moins importante devra en être maintenue en service.

D'une manière générale, — et c'est par là que je terminerai, — je vous demande, Messieurs, de considérer qu'en toutes circonstances vous trouverez toujours les exploitants de mines désireux d'étudier, en confiante collaboration avec vous, les problèmes que soulève la mise en service, dans leurs exploitations, des appareils que vous pourrez envisager de construire à leur intention.

Digitized by Google

Observations de M. Mathivet

Je vous demande la permission de faire une remarque aussi courte que possible au sujet de la conférence que je vous ai faite le 7 juillet 1926, sur le sujet qui vient à nouveau d'être développé devant vous.

Vous venez de constater quels efforts parallèles les constructeurs électriciens d'une part, et les Ingénieurs du Corps des Mines d'autre part, avaient faits, pour introduire dans les mines grisouteuses, un matériel offrant toutes les garanties de sécurité.

Mais, en présence des complications inévitables auxquelles ce matériel doit être astreint, il est permis de se demander si, avant de pousser à fond les études et les essais de ce matériel spécial, il ne conviendrait pas tout d'abord de s'efforcer à intensifier l'emploi du matériel électrique dans les régions de la mine n'offrant aucun danger, telles que les puits secondaires, les abords des accrochages et les galeries de roulage qui relient le puits principal aux chantiers d'abatage du charbon.

En effet, qu'une mine soit grisouteuse ou qu'elle ne le soit pas, il y a toujours entre le puits et la zone d'abatage un faisceau de travaux d'approche dans lesquels l'air qui circule est entièrement frais, donc dépourvu de tout danger.

Pourquoi ne porterions-nous pas nos efforts sur ces régions et n'amènerions-nous pas les Ingénieurs chargés des travaux du fond dans les mines, à accepter que, dans ces régions absolument sûres, nous multipliions les postes d'éclairage, les moteurs de treuils secondaires, les traînages électriques et enfin les locomotives électriques à trolley ou à accumulateurs ?

Ce serait d'ailleurs un excellent moyen de former progressivement le personnel du fond de la mine à la manipulation des appareils électriques, car, même dans une atmosphère non dangereuse, nous savons qu'il y a des précautions à prendre.

De plus, le personnel dirigeant lui-même s'accoutumerait avec l'idée de remplacer progressivement, au fond de la mine, l'air comprimé par l'électricité et, le jour où on lui demanderait de faire un nouveau pas en avant, il serait déjà préparé intellectuellement à le faire.

D'ailleurs, je voudrais vous proposer une solution intermédiaire et préparatoire dans cet ordre d'idée.

Digitized by Google

Cette solution consisterait à diviser nettement une mine, même grisouteuse, en deux régions bien distinctes :

1° une région que nous pourrions appeler neutre, comprise entre le puits principal et le début des régions d'abatage.

Dans cette région nous pourrions installer un matériel électrique de dimensions convenables.

2° Une région que nous pourrions appeler dangereuse dans laquelle on conviendrait de maintenir l'outillage actuel à air comprimé.

Mais, au lieu de commander cet outillage par de l'air comprimé produit à la surface de la mine, donc avec un rendement déplorable, nous installerions sur la lisière des deux régions définies plus haut, tout un lot de petits compresseurs d'air d'une puissance maxima de 50 ch mus par des moteurs électriques normaux et ce sont les différents outils à air comprimé (haveuses, petites pompes, petits ventilateurs, convoyeurs, couloirs oscillants) qui seraient alimentés pour chaque région d'abatage par l'un des compresseurs indiqués ci-dessus.

On voit, en résumé, la méthode prudente et progressive que je vous propose d'adopter.

Cette méthode donnerait tout le temps voulu aux constructeurs comme aux Ingénieurs des stations d'essais officielles de mettre au point le matériel spécial électrique nécessité par les atmosphères grisouteuses ou simplement dangereuses.

Elle aurait en outre l'avantage d'offrir aux constructeurs électriciens français la possibilité d'installer, sur une période de temps assez courte, une quantité intéressante de matériel électrique au fond de la mine, sans compromettre en quoi que ce soit la sécurité de celle-ci.

Messieurs, vous voyez que je suis arrivé à des conclusions un peu différentes de celles du 7 juillet 1926, mais c'est à la suite des conversations nombreuses que j'ai eues à ce sujet, tant avec mes collègues chargés des Services du Fond qu'avec les Ingénieurs du Corps des Mines de la Région du Nord et du Pas-de-Calais.

Observations de M. Neu

Je m'excuse de prendre la parole après la communication si documentée de M. Audibert, et les judicieuses observations de M. Mathivet, mais, si je me permets de le faire, c'est que j'ai eu l'honneur d'être un des premiers à introduire en France l'emploi de l'électricité dans l'industrie houillère avec les treuils de plan incliné d'Anzin

Digitized by Google

(1889), locomotive des Mines de Marles (1891), pompe de Lambrecht (1893), locomotive triphasée de La Mure (1900), machines d'extraction de Marles (1906), et j'ai pu suivre pas à pas toutes les difficultés de l'emploi de l'électricité dans les travaux du fond, difficultés que M. AUDIBERT vient de nous rappeler avec tant de précision.

La question pourrait se résumer comme suit : l'économie de dépense que peut présenter l'électricité par rapport à l'air comprimé compense-t-elle les difficultés et risques supplémentaires ; je ne le crois pas ; en effet, une consommation de 100 mètres cubes d'air (mesuré à la pression atmosphérique) par tonne de charbon extrait, est un chiffre élevé, rarement atteint dans la plupart des exploitations ; or, la compression à 6 kgs de ces 100 mètres-cubes représente un travail de quelque 11 chevaux-heure ; si on admet que le rendement de la transmission électrique est 3 fois celui de l'air comprimé, la différence de consommation par tonne sera de 7,7 chevaux-heure, soit environ 5,5 kWh; si on admet un prix de revient du courant produit par la mine, avec utilisation de bas produits, de 15 c le kWh, cela fait une différence de dépense par tonne de charbon extrait, de

$$5{,}5 \times 0{,}15 = 0{,}82,$$

ce qui est de l'ordre de grandeur de un pour cent seulement du prix de revient total. Cela vaut-il la peine d'augmenter les risques des ouvriers et les préoccupations des Ingénieurs ?

Réponse de M. AUDIBERT

1° La mise en service, au fond, de compresseurs de moins de 50 ch ne présente, à mon avis, aucun intérêt, ni pour les électriciens, ni pour les mineurs. Pour les premiers, parce que le fait de descendre une machine du jour au fond ne leur ouvrira aucun débouché nouveau. Pour les seconds, parce que la suppression de quelques conduites à gros diamètre n'entraînera qu'une économie tout à fait insignifiante, insuffisante pour compenser le supplément de dépenses auquel donnera inévitablement lieu le remplacement d'unités importantes par une poussière de machines moins puissantes et dispersées.

2° Quant à l'installation de moteurs électriques ordinaires dans la région que M. MATHIVET appelle « neutre », elle est autorisée par l'article 216 du décret du 13 août 1911 ; le régime que M. MATHIVET nous propose d'inaugurer n'est par conséquent ni plus ni moins que le régime en vigueur depuis plus de quinze ans.

Digitized by Google

TELEPHONIE TRANSATLANTIQUE
LA STATION RADIOTÉLÉPHONIQUE DU POST-OFFICE BRITANNIQUE A RUGBY (1)

par M. E. M. DELORAINE

European Engineering département, International standard électric Corporation.

L'auteur expose le principe du système de transmission adopté, qui supprime l'onde porteuse et l'une des franges de modulation. Il décrit les procédés employés pour la production de la frange unique, l'appareillage préparatoire, l'amplificateur à haute fréquence, son alimentation, les dispositifs de protection et de contrôle.

Historique

La transmission de la voix à travers l'Océan Atlantique, est un problème qui a été étudié d'une façon suivie depuis de nombreuses années. Déjà en 1915, il avait été possible de recevoir à la Tour Eiffel, à Paris, des messages téléphoniques envoyés à partir de la station navale d'Arlington. Les résultats obtenus étaient encore bien insuffisants et ce n'est qu'en janvier 1925 qu'il fut possible de parler de New-York à Londres à une heure déterminée à l'avance. Cette démonstration consistait en la transmission de messages envoyés à partir des bureaux de l'American Telephone and Telegraph Co, à New-York et reçus aux environs de Londres dans une usine de la « Standard Telephones et câbles Ltd. » Cet essai, qui fut entièrement couronné de succès, ne s'effectuait cependant que dans une direction et pendant la nuit. Enfin, en février 1926, la première conversation à travers l'Atlantique fut conduite entre les Ingénieurs de la station du Post-Office à Rugby, en Angleterre, et les Ingénieurs de l'American Telephone et Telegraph à New-York.

Le circuit

Le circuit complet nécessaire pour la conversation à travers l'Atlantique comprend, de chaque côté de l'Océan, une station transmettrice,

---

(1) Communication présentée à la séance de la Société française des Electriciens du 6 novembre 1926.

Digitized by Google

une station réceptrice et un ensemble de lignes téléphoniques, pour connecter ces stations à Londres et à New-York respectivement. Un schéma simplifié de ce circuit est donné sur la fig. 1, et on réalise d'après cette figure que la station transmettrice de Rugby n'est qu'une portion d'un ensemble plus complexe, et doit fonctionner simultanément avec les autres portions du circuit.

La fonction essentielle du transmetteur radiotéléphonique de Rugby est de recevoir les courants de la voix, arrivant de Londres par la ligne téléphonique; de produire une onde haute fréquence ayant les caractéristiques désirées; d'amplifier cette onde haute fréquence, jusqu'à obtenir l'énergie voulue et de transmettre une portion de cette énergie dans l'espace

En conséquence, l'appareillage se divise en trois sections princi-

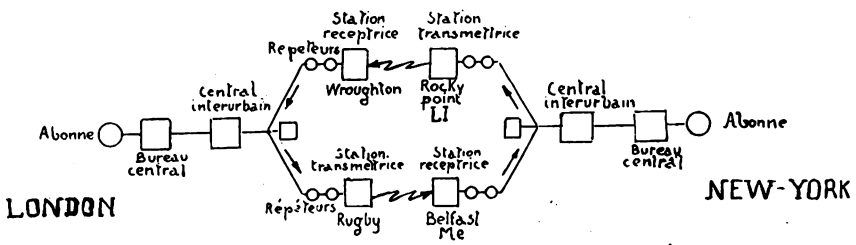


Fig. 1. — Schéma simplifié du circuit.

pales: l'appareillage modulateur à faible puissance, l'amplificateur de puissance à haute fréquence et l'antenne transmettrice.

On doit ajouter à ceci, naturellement, l'ensemble des appareils destinés à assurer le contrôle et la sécurité du transmetteur et enfin les machines d'alimentation.

Méthode de transmission

La station de Rugby présente un intérêt spécial, non seulement par suite de l'importance de l'énergie mise en jeu, mais aussi par suite des caractéristiques exceptionnelles qui résultent de la méthode spéciale de transmission employée.

Ainsi qu'on le sait, le résultat de la modulation d'une onde porteuse par des courants à la fréquence de la voix est la production de deux franges placées symétriquement de part et d'autre de l'onde porteuse. L'onde porteuse elle-même n'est pas modifiée par la modulation, et ne

Digitized by Google

contient par conséquent aucune portion du message que l'on désire transmettre.

Supposons, en effet, que le circuit employé soit celui qui est indiqué sur la fig. 2. La tension alternative de grille sera représentée par:

(1) $$e = e_1 \sin pt + e_2 \sin qt \qquad \text{où} \qquad \frac{p}{2\pi}$$

est la fréquence de l'onde porteuse et $\frac{q}{2\pi}$ l'une des fréquences comprises dans le spectre des courants de la voix.

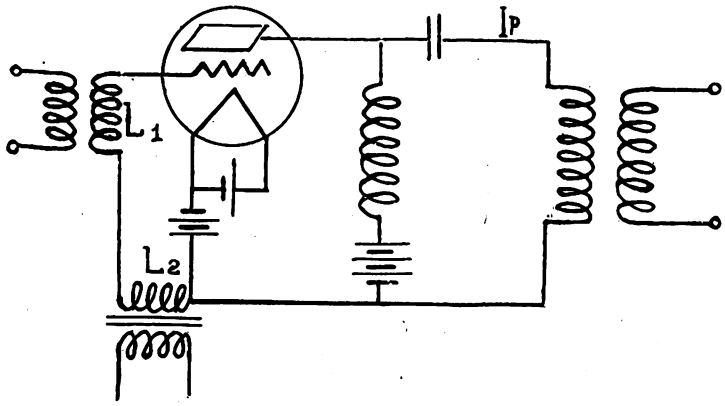


Fig. 2. — Schéma de modulateur.

Si nous limitons l'équation du tube à deux termes, le courant de plaque pourra être représenté par:

(2) $$I_p = a_1 e + a_2 e^2$$

En substituant l'équation (1) dans l'équation (2) et nous limitant aux termes haute fréquence compris entre $\frac{p+q}{2\pi}$ et $\frac{p-q}{2\pi}$ nous avons:

$$I_p = a_1 e_1 \sin pt + 2a_2 e_1 e_2 \sin pt \sin qt.$$

ou encore:

$$I_p = a_1 e_1 \sin pt + a_2 e_1 e_2 \cos (p-q)t + a_2 e_1 e_2 \cos (p+q)t$$

On voit que le premier terme représente une onde porteuse d'amplitude constante, le second et le troisième termes représentant l'une des fréquences des franges supérieures et inférieures respectivement. La frange supérieure est une copie exacte du spectre des courants de la voix, chaque fréquence ayant augmenté d'une quantité égale à la fréquence de l'onde porteuse. La frange inférieure prend une position

Digitized by Google

renversée par rapport à l'onde porteuse. Le spectre produit par la modulation est indiqué sur la figure 3*a*.

Si l'on prend, comme limites des fréquences essentielles à la transmission de la voix, les valeurs S_1 et S_2, les courants de la voix peuvent être représentés d'une façon schématique par un spectre de lignes dans une bande B. La longueur de ces lignes n'a pas de signification spéciale; on les a indiquées inégales de façon à ce que les positions des bandes soient suivies facilement dans les transformations qui suivent.

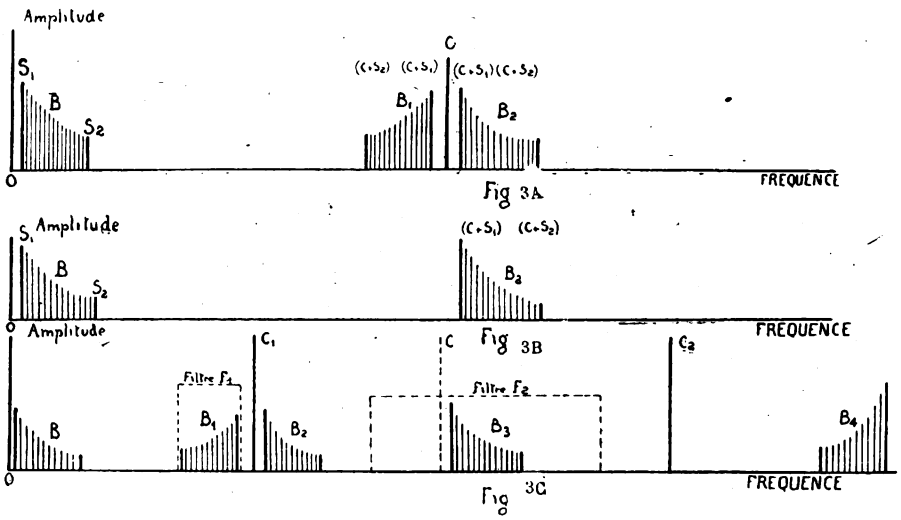


Fig. 3. — Spectres de modulation.

La ligne C représente l'onde porteuse et le résultat de la modulation est de produire des franges B_1 et B_2 qui s'étendent sur une échelle égale à deux fois S_2. B_1 et B_2 sont généralement appelés la frange supérieure et la frange inférieure respectivement. Chacune des franges B_1 et B_2 contient en elle-même tous les éléments nécessaires à la reproduction des courants de la voix. En conséquence, une seule frange est nécessaire pour la réception, et on ne gagnerait rien dans le cas de téléphonie transatlantique, en transmettant deux bandes plutôt qu'une seule; il y a au contraire plusieurs avantages à exclure l'une des franges. Dans la méthode ordinaire de transmission radiotéléphonique, l'ensemble de l'onde porteuse et des deux franges est transmis par l'antenne et radié dans l'espace. Etant donné que l'onde porteuse contient au moins les 2/3 de l'énergie totale envoyée dans l'antenne, et que les produits de la modulation occupent plus de deux fois la bande de

Digitized by Google

fréquences strictement nécessaire, il est évident que la méthode ordinaire de transmission ne conduit pas au rendement maximum, soit par rapport à la consommation de puissance, soit par rapport à l'emploi le plus avantageux de l'échelle des fréquences de l'éther. Dans la méthode de transmission avec une seule frange et sans onde porteuse, une des deux franges, telle que B_2 par exemple, est sélectée dans le spectre produit par la modulation et amplifiée jusqu'à ce que la puissance nécessaire pour la transmission soit obtenue.

Dans ce cas, le résultat de modulation est une simple translation de la bande de fréquences de la voix, ainsi qu'il est indiqué sur le schéma de la figure 3B, où la bande B représente les fréquences de la voix, et la bande B_2 représente la bande de fréquences radiées par l'antenne transmettrice.

Evidemment, le procédé de réception comprend la sélection de la bande B_2, son amplification et la translation de la bande de fréquences à sa position d'origine, par rapport à la fréquence o, ce qui reproduit le spectre de fréquences original. Cette transformation de fréquences est obtenue par la réintroduction de l'onde porteuse C sur la grille du détecteur ou, autrement dit, en employant une fréquence hétérodyne, correspondant à l'onde porteuse éliminée à la station transmettrice. Cette translation est donc résolue facilement, mais la fréquence de l'hétérodyne doit être réglée très exactement, sans quoi les fréquences reproduites ne seraient pas dans leurs positions propres, par rapport à la position o et la qualité de la voix serait modifiée. Ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer, l'élimination de l'onde porteuse, produit une économie de puissance d'au moins 67 pour cent, en plus de quoi la suppression d'une frange réduit la largeur de la bande nécessaire à la transmission à moins de la moitié de celle qui serait employée dans le cas de la méthode ordinaire. Il en résulte une économie de l'espace dont on dispose dans l'éther, ce qui est très important étant donné l'état de congestion dans lequel se trouvent maintenant les bandes de fréquences comprises aux environs de celle qui est employée par la radiotéléphonie transatlantique.

La bande plus étroite, employée dans le système à une seule frange, permet l'emploi d'appareils de réception plus sélectifs, ce qui aide considérablement dans la réduction de l'interférence due aux atmosphériques, et augmente la valeur du rapport entre les signaux désirés et l'interférence atmosphérique ou artificielle. Supposant toutes choses égales, cette réduction de la bande permet une économie supplémentaire de puissance à la station transmettrice,

Digitized by Google

Un second avantage important, résultant de la réduction de la largeur de la bande, est d'apporter une certaine simplification dans les problèmes d'établissement des circuits à haute fréquence à la station transmettrice. Il est très difficile, par exemple, aux fréquences employées pour la radiotéléphonie transatlantique, de produire une antenne ayant un rendement suffisamment élevé et qui passe à peu près également les diverses fréquences même comprises dans une seule frange.

La méthode de transmission à une seule frange a un troisième avantage important, à savoir qu'elle entraîne une réduction des fluctuations produites par les changements dans le milieu transmetteur. Dans le cas du système ordinaire, l'amplitude du signal aux bornes de sortie de l'appareil de réception est proportionnelle au produit de l'amplitude d'une frange par l'amplitude de l'onde porteuse. Ces deux amplitudes étant simultanément affectées par les variations du milieu transmetteur, les changements d'amplitude du signal après détection, sont proportionnels au produit des changements d'amplitude des deux ondes.

Dans le cas d'un appareil de réception prévu pour une seule frange, l'onde porteuse réintroduite en local est d'amplitude constante et, par conséquent, les variations dans la forme du signal après détection sont réduites proportionnellement.

On voit, d'après ce qui précède, que l'emploi de ce système est entièrement justifié dans le cas considéré.

Le choix de la position de la bande de fréquence qui sert à la téléphonie transatlantique est déterminé par un certain nombre de facteurs, dont les plus importants sont le prix de revient de la transmission et les caractéristiques du milieu transmetteur. Une étude très complète, qui fut faite sur la transmission radio à travers l'Atlantique dans l'échelle de longueurs d'onde comprises entre 5 000 et 17 000 mètres, a montré que, d'une façon générale, les grandes longueurs d'onde sont reçues avec une force plus constante à un moment donné, que les ondes plus courtes et sont moins sujettes aux variations. Cette étude a montré aussi que l'interférence produite par les atmosphériques est moins forte dans le cas des ondes moyennes. Les ondes longues entraînent des dépenses plus élevées à la station transmettrice. Après avoir considéré les divers facteurs du problème, y compris l'importance relative des ondes longues et des ondes moyennes au point de vue du trafic, on

Digitized by Google

décida que, pour le moment, la fréquence milieu de la frange transmise serait prise entre les valeurs de 50 et 65 kilocycles.

L'emploi de la méthode de transmission avec une seule frange nécessite un appareillage préparatoire pour la modulation et la filtration de l'onde haute fréquence à petite puissance, car les opérations seraient très difficiles à réaliser sur des courants importants. Le transmetteur comprend donc un appareillage préparatoire à petite puissance et un amplificateur à haute fréquence de grande puissance.

L'installation décrite est de nature expérimentale et, en conséquence, fut prévue en vue d'obtenir le maximum de souplesse. Dans le but de de faciliter l'exploitation et la surveillance du transmetteur, on concentra les manœuvres de commande et les appareils de mesure sur une table de contrôle centrale. Une autre caractéristique du système est l'ensemble important de moyens de protection et d'appareils assurant l'indication automatique des conditions opératoires anormales.

Production de la frange unique.

La transformation de fréquence à la station transmettrice se réduit, ainsi qu'on l'a déjà montré, à une simple translation de la bande de fréquences de la voix. Cette transformation nécessite la modulation et la filtration de courants à haute fréquence. Dans la modulation, une proportion importante de l'onde porteuse peut être éliminée par l'emploi d'un modulateur équilibré, mais il est nécessaire que le filtre élimine le reste de l'onde porteuse ainsi que la deuxième frange. Les filtres employés dans ce but doivent être construits de façon à produire un degré de différenciation très élevé.

La fréquence S_1, la plus basse considérée dans la figure 3*a*, est d'environ 300 p:s. La différence entre l'onde porteuse C et la fréquence la plus proche est donc de 300 p:s, et le filtre doit pouvoir différencier d'une façon complète entre des fréquences qui ne sont séparées que par cet intervalle. En conséquence, prenant la fréquence supérieure de la bande de transmission considérée, 50 à 65 kilocycles, le pourcentage le plus petit entre les fréquences qui doivent être passées et celles qui doivent être supprimées est approximativement de 4/10 de 1 pour cent. De plus, afin de pouvoir changer les longueurs d'onde dans les limites 50 à 65 kilocycles (la valeur finale employée dépendant d'un nombre assez considérable de facteurs, dont l'un est la caractéristique de l'antenne), il est nécessaire que ce filtre à fréquence de coupure très

Digitized by Google

abrupte soit aussi un filtre à fréquence de coupure variable. Dans l'état présent des connaissances techniques, il serait extrêmement difficile et très coûteux de construire un filtre de ce genre. Il est beaucoup plus satisfaisant d'employer un système de double modulation avec des filtres à fréquence de coupure fixe. Ces filtres ne peuvent pas être construits économiquement pour être traversés par une puissance appréciable. Il est préférable de produire la modulation sur des courants de très petite intensité et d'amplifier l'onde haute fréquence obtenue jusqu'à ce qu'on ait l'énergie nécessaire. Cette première opération comprend la modulation d'une onde porteuse à fréquence intermédiaire constante C_1 (figure 3*c*) de valeur très inférieure aux fréquences employées pour la transmission, les courants de sortie de ce premier modulateur comprendront par conséquent les courants formant le spectre $B_1C_1B_2$. Ces courants passent par un filtre à bande fixe ayant des fréquences de coupure indiquées par F_1. On remarquera que F_1 sélecte la frange inférieure. Le procédé entier est ensuite répété en employant les courants de sortie du filtre F_1 pour moduler une seconde onde porteuse de fréquence C_2 qui est réglée de telle sorte que $C_2 - C_1 = C$ où C correspond à la fréquence de l'onde porteuse qui aurait été employée si l'on avait fait de la modulation directe.

La seconde modulation produit une seconde combinaison d'une onde porteuse et de deux franges, à savoir C_2, B_3 et B_4, mais, dans ce cas, les bandes B_3 et B_4 sont nettement séparées de C_2. La différenciation est donc relativement facile et la frange B_3 peut être obtenue à l'aide d'un filtre à bande suffisamment large pour permettre de déplacer la bande B_3 entre les limites prévues de 50 à 65 kilocycles. La position de la bande B_3 dans le filtre peut être déplacée en changeant la fréquence de l'oscillateur qui produit l'onde porteuse C_2. On a donc un moyen extrêmement simple de changer la position de la bande entre les limites considérées.

Le premier filtre à bande ayant passé la frange inférieure de l'onde produite par le premier modulateur, et le second filtre à bande ayant passé de nouveau la frange inférieure du second modulateur, le spectre de fréquence de la frange finale est donc revenu dans sa position à l'origine. En d'autres termes, la sélection de la frange inférieure deux fois de suite revient à la sélection de la frange supérieure en modulation directe sur onde porteuse de fréquence égale à la différence des fréquences entre le premier et le second oscillateur de la méthode de double modulation. Un système réglable éliminant une frange et l'onde porteuse est ainsi obtenu sans qu'il y ait lieu de recourir à l'emploi de filtres variables.

Digitized by Google

Appareillage préparatoire.

Pour recevoir les courants téléphoniques de la ligne et produire les courants de haute fréquence correspondant à une frange unique, on a suivi une méthode de montage courante dans les installations téléphoniques ; les diverses unités électriques sont montées sur des panneaux indépendants, qui sont installés verticalement sur des supports métalliques appelés « baies » (fig. 4).

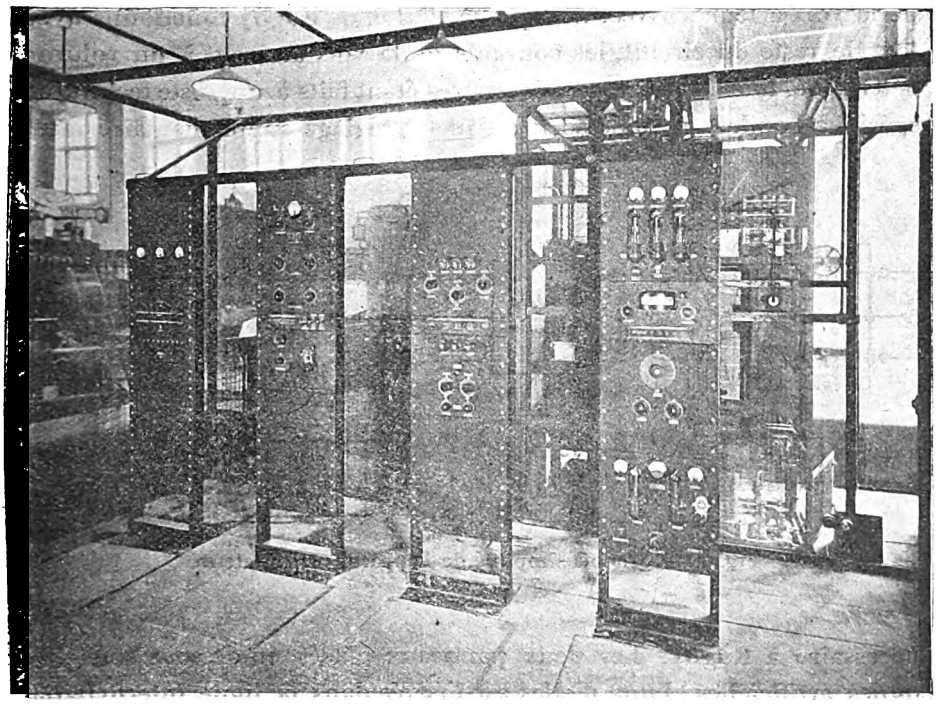


Fig. 4. — Equipement modulateur.

Les quatre baies ont été groupées d'après leur fonction de la façon suivante ;

La première baie à partir de gauche comprend les circuits d'alimentation des trois autres baies. Les circuits essentiels sont des filtres pour éliminer la fluctuation de tension produite par le collecteur des machines fournissant le courant de chauffage des tubes, la tension négative de grille et la tension plaque.

Le courant de filament ou de plaque d'un tube quelconque peut être lu en manœuvrant l'une des clés du panneau. Les circuits sont protégés par des fusibles actionnant une sonnerie d'alarme lorsqu'ils

Digitized by Google

fondent et par des relais. Ces relais sont insérés aux points importants des circuits des trois autres baies et donnent une alarme au cas de fonctionnement incorrect de la partie correspondante du circuit.

La deuxième baie comprend les circuits pour courants à fréquence audible. Deux lignes interurbaines venant de Londres se terminent sur les réglettes d'arrivée de cette baie, une des lignes est utilisée normalement, et l'autre est une ligne de réserve. En haut de la baie, un indicateur de volume permet à l'opérateur de vérifier le volume des courants de la voix à leur arrivée. Lorsque la station de Rugby fonctionne avec tout le reste du circuit, les courants de la voix arrivent à un volume déterminé, tous les réglages nécessaires étant faits à un poste technique spécial à Londres, de telle sorte qu'aucun réglage supplémentaire n'est

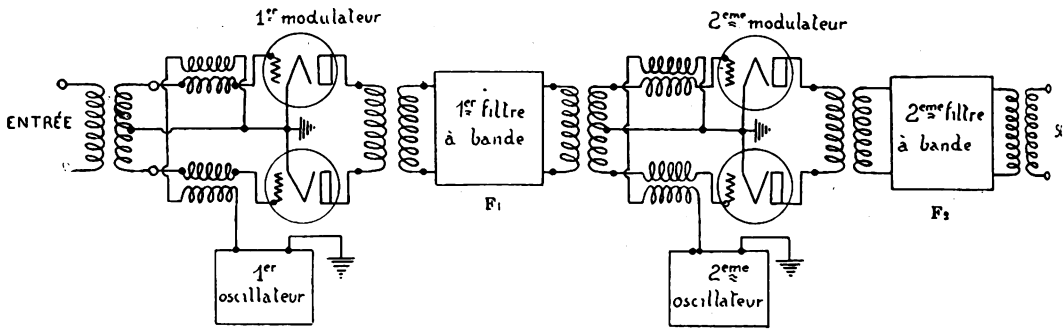


Fig. 5. — Schéma simplifié de l'appareil modulateur.

nécessaire à Rugby. Les deux panneaux placés en-dessous sont des lignes artificielles, l'une d'elles est insérée dans la ligne interurbaine de Londres à Rugby et l'autre est insérée dans la ligne qui vient d'une cabine téléphonique locale. Les réglages sont tels que les courants de sortie ont l'amplitude voulue pour moduler la première onde porteuse. Le panneau suivant comprend des jacks pour faire l'essai de diverses parties du circuit et trois clés ; la première clé actionne un relais qui remplace la ligne de Londres par celle qui vient de la cabine téléphonique locale. Cette dernière cabine comprend un microphone ordinaire et un microphone de haute qualité du type employé pour la radio-diffusion. Elle sert pour les essais de la station en local. Les deuxième et troisième clefs servent à insérer des filtres passe-bas et passe haut qui limitent la largeur de la bande de fréquences passant au modulateur. Le panneau qui suit est un oscillateur spécial à 1 500 p : s, employé pour télégraphier ou pour transmettre la fréquence dite « de

Digitized by Google

référence » à partir de laquelle la station de réception peut vérifier et régler la fréquence de l'oscillateur qui réintroduit l'onde porteuse. Les panneaux du bas sont occupés par des filtres, dont l'un empêche le retour des courants de haute fréquence qui pourraient être induits sur la ligne à partir de l'antenne.

La troisième baie comprend le premier et le deuxième circuits modulateurs et les filtres à bande F_1 et F_2 de la figure 5. Les trois tubes à vide du bas correspondent au premier modulateur équilibré et à l'oscillateur produisant l'onde porteuse de fréquence C_1. La fréquence de cet oscillateur peut être réglée dans des limites restreintes à l'aide d'un condensateur variable. Un autre condensateur et un potentiomètre servent à parfaire l'équilibrage du modulateur. Le deuxième modulateur est placé au-dessus du premier.

Le second oscillateur a une fréquence qui peut être variée dans des limites beaucoup plus étendues que le premier, car cet oscillateur permet, s'il est nécessaire, la longueur d'onde de la station. Les filtres à bande sont placés au-dessus et au-dessous des modulateurs.

Le signal correspondant à une seule frange du spectre obtenu par modulation a atteint sa forme finale aux bornes de sortie de la troisième baie, et il ne reste plus qu'à amplifier ce signal jusqu'à obtenir l'amplitude voulue. Le point du système correspondant au niveau d'énergie le plus faible se trouve aux bornes d'entrée du premier modulateur. L'amplification totale d'énergie à partir de ce point jusqu'au circuit d'antenne correspond à un rapport d'environ 500 millions.

Le panneau supérieur de la quatrième baie constitue le premier amplificateur à haute fréquence, c'est un amplificateur à deux étages, le premier comprenant un tube à vide et le second deux tubes à vide en parallèle. Des appareils de mesure permettent de vérifier les valeurs de courant de grille et de courant de plaque. L'énergie de sortie peut être lue sur un appareil à thermo-couple placé en dessous de l'amplificateur. Les deux panneaux du bas forment un oscillateur d'essai. Tout l'appareillage préparatoire peut être remplacé par cet oscillateur à fréquence variable dans le cas d'essais nécessitant seulement des signaux télégraphiques

Il est bien clair que le fonctionnement stable de l'appareillage préparatoire nécessite une protection très effective des circuits au moyen d'écrans, à cause du champ électromagnétique très intense, produit par

Digitized by Google

les courants et les tensions très élevées qui passent dans les circuits de l'amplificateur de puissance et de l'antenne. L'équipement est placé dans un espace protégé électriquement par un écran en treillis de cuivre. Les panneaux de l'appareillage modulateur sont métalliques et sont protégés par un couvercle de métal. Les bobines, les condensateurs, etc., sont aussi protégés par des écrans métalliques.

Une autre condition essentielle pour obtenir un fonctionnement satisfaisant de l'ensemble du circuit est d'employer des oscillateurs ayant un très haut degré de stabilité. Bien que les tensions d'alimentation des plaques, grilles et filaments soient obtenues directement des machines, il a été possible de maintenir la variation extrême de fréquence par des variations normales d'alimentation et de température dans des limites bien inférieures à 0,01 de 1 pour cent.

Amplificateur à haute fréquence.

L'amplification de l'énergie, très faible, fournie par l'appareillage préparatoire, est obtenue par l'intermédiaire d'un amplificateur à haute

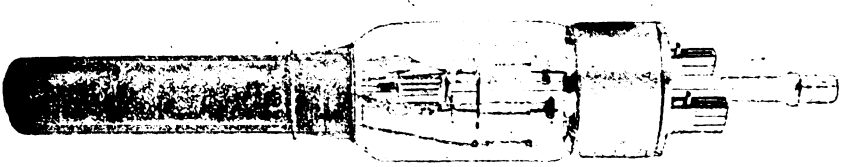


Fig. 6. — Tube à vide de 10 kW.

fréquence à trois étages. Les tubes à vide employés sur ces trois étages sont tous d'un même type, de 10 kW à refroidissement de l'anode par circulation d'eau, fabriqués par la Standard Telephones and Cables de Londres (fig. 6). Le premier étage ne comprend qu'un tube à vide, le second en comprend trois en parallèle, et le troisième en comprend trente en deux groupes de quinze.

Ainsi qu'on le sait, on peut augmenter le rendement d'un amplificateur en rendant les grilles des lampes plus négatives, et en n'ayant de courant plaque que pendant une fraction de temps correspondant à une période complète. Ce mode d'emploi réduit les pertes dans les tubes, puisque le courant dans le tube est nul pendant que le courant plaque est élevé. On ne peut cependant pas étudier un amplificateur pour fréquences audibles de ce type par suite de la distorsion qui en résulte. La raison est due à ce qu'un rendement élevé est accompagné d'une production d'harmoniques de grande amplitude. Dans le cas de

Digitized by Google

la parole, les harmoniques des composantes de fréquence inférieure sont dans la bande de fréquences nécessaire à la transmission satisfaisante de la parole, et par conséquent viennent s'ajouter aux fréquences de la parole à l'origine. Dans le cas de l'amplification en haute fréquence, la bande d'harmoniques produite par l'amplification avec rendement élevé, est bien séparée de la bande que l'on désire transmettre, et il est possible de séparer les fréquences fondamentales des harmoniques au point d'empêcher d'une façon très complète ces harmoniques d'être transmis par l'antenne. Cette élimination d'harmoniques, qui est très importante dans un système de ce genre, est obtenue à l'aide de circuits résonnants placés entre le circuit de sortie des tubes à vide et l'antenne. Ce circuit est résonnant pour la fréquence milieu de la bande à transmettre, et présente une réactance faible pour les fréquences correspondant aux harmoniques. En conséquence, les cou-

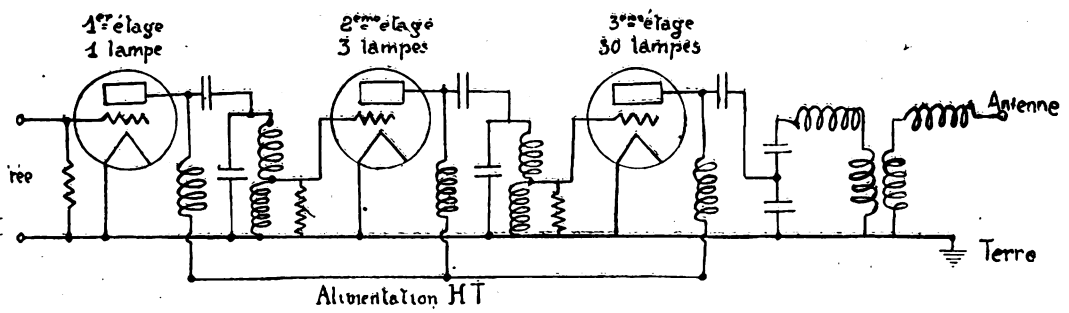


Fig. 7. — Schéma simplifié de l'amplificateur haute fréquence.

rants correspondants sont pratiquement court circuités des anodes à la terre, et l'énergie correspondante est dissipée à l'intérieur des tubes à vide. L'antenne elle-même fait l'effet d'un filtre et transmet le fondamental avec un rendement plus grand que pour les harmoniques.

Le circuit de couplage employé (fig. 7), comprend essentiellement un circuit accordé, mais dont la résonance est rendue moins pointue par la présence de résistance. Afin d'obtenir une puissance importante à partir de chaque tube à vide, il est nécessaire d'exciter les grilles avec des tensions alternatives haute fréquence de grande amplitude, et d'amener la grille à des potentiels positifs élevés par rapport au filament. Pendant cette portion de la demi-période, la grille passe un courant important et l'impédance du circuit grille est très réduite. Pendant la demi-période suivante, cette impédance est à nouveau très

Digitized by Google

élevée, et il est nécessaire d'empêcher ces variations d'impédance du circuit grille de venir réagir sur l'impédance du circuit plaque de l'étage précédent, sans quoi l'amplificateur n'aura pas une caractéristique rectiligne des courants de sortie en fonction de l'amplitude des courants d'entrée.

On réalise ceci en introduisant un circuit en parallèle avec la grille qui ait une impédance suffisamment petite pour réduire à un mini-

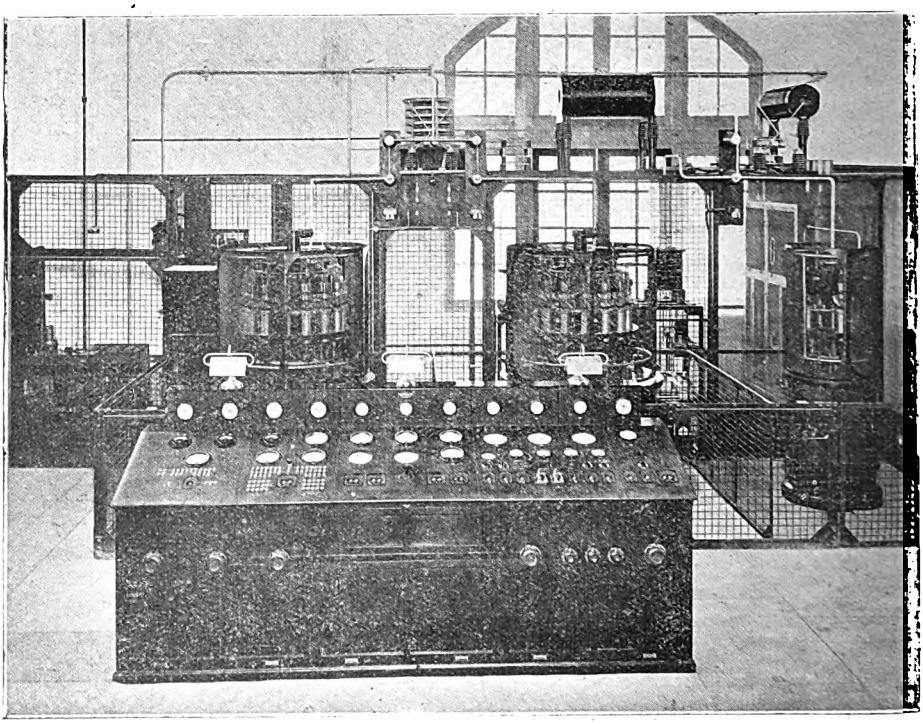


Fig. 8. — Vue générale de l'amplificateur haute fréquence.

mum les effets produits par l'impédance variable du circuit grille. Le circuit du couplage est donc en fait un transformateur abaisseur de tension qui a une impédance primaire et secondaire permettant de produire des tensions positives élevées sur les grilles du côté secondaire, tout en réduisant suffisamment la réaction de ce circuit sur le primaire. Il n'y a pratiquement pas d'élévation de tension dans les trois étages de l'amplificateur, mais une augmentation progressive de la puissance.

La figure 8 donne une vue générale de l'amplificateur de puissance. Le premier étage est au fond et à droite, le second à droite et en avant, le troisième est constitué par les deux unités en arrière de la table de contrôle.

Digitized by Google

Le premier étage d'amplification est protégé par des écrans de cuivre qui forment les parois de la chambre où il est installé, les différents circuits sont protégés par une cage de métal. Cette première unité est divisée en trois compartiments : le circuit d'entrée, compartiment de la lampe et circuit de sortie. L'unité suivante comprend trois tubes-à-vide refroidis par circulation d'eau, placés de façon à rendre les différentes lampes très accessibles, et à conserver une disposition symétrique. L'unité repose sur une base en fonte de forme circulaire. Les résistances et fusibles qui sont insérés dans le circuit primaire des transformateurs d'alimentation des filaments, sont installés dans des tiroirs qui permettent de changer ces résistances ou de remplacer les fusibles sans danger. La portion de l'unité au-dessus de la base supporte un tuyau de caoutchouc enroulé en spirale. Ce tuyau sert à transporter l'eau de refroidissement, tout en isolant les anodes par rapport au sol. Les lampes sont supportées par des enveloppes pour circulation d'eau recevant l'eau tangentiellement d'un tube d'alimentation circulaire. L'eau prend un mouvement de rotation autour de l'anode. Elle passe du haut de l'enveloppe dans un tube de sortie et retourne aux réservoirs d'alimentation. Les tubes d'alimentation d'entrée et de sortie servent aussi de connexion électrique entre toutes les lampes d'une unité.

Les deux unités de quinze lampes qui forment le dernier étage d'amplification, sont construits suivant les mêmes principes que l'unité à trois lampes, décrite ci-dessus. Les deux unités en parallèle fournissent la puissance haute fréquence au circuit de sortie et à l'antenne, ces circuits étant installés dans le premier et le deuxième étage du bâtiment. Les différentes anodes ne sont pas reliées directement en parallèle, mais par l'intermédiaire de petites bobines d'inductance. Ces bobines sont montées avec une résistance au centre en parallèle avec la bobine. La présence de cet ensemble empêche la production d'oscillations à très haute fréquence qui sont généralement dues à des échanges d'énergie entre les lampes. Dans le même but, les anodes sont aussi connectées à travers des résistances à une barre pour égaliser les potentiels. Cette barre sert aussi à l'évacuation de l'eau après son passage dans les enveloppes de refroidissement. Les grilles des deux ensembles de 15 lampes sont reliées en parallèle à travers un circuit ayant des caractéristiques propres à empêcher les oscillations qui pourraient provenir d'un échange d'énergie entre les deux groupes de 15 lampes.

Digitized by Google

Les filaments des différentes lampes sont chauffés en courant alternatif par l'intermédiaire de transformateurs individuels, placés en-dessous du niveau du plancher. De même, l'arrivée des tuyauteries d'eau et des câbles pour chaque unité, se fait en tranchées sous plancher. La tension négative de grille est obtenue à partir d'un potentiomètre avec réglage à distance. L'alimentation des plaques en courant continu se fait à partir des barres à courant continu et à travers des bobines de choc installées au-dessus des diverses unités de l'amplificateur.

Les connexions à chaque unité sont faites par des couteaux d'isolement, qui ne peuvent être ouverts que si la barre n'est pas sous tension.

Antenne.

L'antenne prévue pour les transmissions téléphoniques a environ 2 km de long ; elle est formée d'une cage de 8 fils espacés par des étoiles de 4 m de diamètre et supportés par 6 mâts disposés en forme de U. Ces mâts construits par MM. Head, Wrightson and Company, d'après les spécifications du Post-Office, sont du type pivoté et haubanné. Au dessus de la rotule, on a placé des colonnes de porcelaine qui isolent complètement le mât de la terre. La plateforme intermédiaire est montée aussi sur un cube de granit qui augmente quelque peu l'isolement donné par la porcelaine. Les mâts ont une section triangulaire, les côtés ayant environ 3 m ; la hauteur de chaque mât est d'environ 270 m. Ils ont été prévus pour une tension horizontale d'environ 10 t. Le système de terre consiste en un réseau de fils de cuivre enterrés à une petite profondeur dans le sol. La résistance effective de l'antenne aux fréquences considérées donne une courbe de résonance assez pointue, ce qui introduit des difficultés importantes pour la transmission de la parole. Les difficultés sont beaucoup moindres dans le cas d'un équipement télégraphique, par suite de la bande étroite de fréquences correspondant aux transmissions télégraphiques à vitesse ordinaire. Dans le cas de la téléphonie, et même pour le système avec une seule frange, le problème de faire passer la bande nécessaire est difficile à résoudre, et le circuit de sortie couplé à l'antenne est réglé de telle façon que l'on obtient finalement une caractéristique des courants de sortie en fonction des tensions à l'entrée de l'amplificateur pour les diverses fréquences qui est beaucoup plus large que la caractéristique de l'antenne seule. Cet élargissement de la bande de transmission n'est obtenu qu'au prix de l'emploi de tensions alternatives plus élevées sur les anodes des tubes-à-vide du dernier étage d'amplification.

Digitized by Google

Alimentation de l'amplificateur de puissance.

L'alimentation de l'amplificateur haute fréquence comprend essentiellement l'alimentation des filaments, des grilles et des anodes des tubes à vide. La puissance nécessaire au chauffage des 2e et 3e étages d'amplification est obtenue à partir d'une génératrice triphasée à 416 V et 100 p : s, chacun des tubes à vide étant alimenté par un transformateur séparé. Cette disposition a l'avantage de rendre possible la mesure du courant plaque de chaque tube à un point où le potentiel est essentiellement le potentiel de terre, et permet aussi l'insertion de relais de surcharge individuels à cet endroit des circuits. L'unité à trois tubes reçoit son courant de chauffage de chacune des phases du système triphasé à 416 V et 100 p : s. Les unités à 15 tubes sont divisées en trois sections de 5 tubes, chaque section étant alimentée sur une phase séparée. La puissance nécessaire pour le chauffage de l'unité à un tube est fournie par une machine à courant continu. Cette disposition a été prise pour réduire dans des proportions suffisantes l'ondulation produite dans les courants de sortie par l'emploi de courant de chauffage alternatif. Un rhéostat à 6 plots est relié en série dans le primaire de chaque transformateur afin de permettre l'introduction de résistance de compensation correspondant aux différentes classes de tubes employés. Le courant alternatif de chauffage est fourni par deux convertisseurs de fréquence de 200 kW chacun, qui furent fournis par MM. Newton Brothers, d'après les spécifications du Post-Office.

Chaque groupe est formé d'un moteur asynchrone à 416 V, 50 p : s, entraînant un alternateur triphasé à 100 p : s ; des régulateurs du système Tirrill sont prévus afin de limiter les fluctuations de tension à des valeurs extrêmement faibles.

Les grilles reçoivent la tension négative de polarisation à travers trois potentiomètres, un pour chaque étage. L'impédance de ces potentiomètres doit être relativement basse afin d'empêcher les fluctuations du courant de grille d'introduire de la distorsion en changeant la valeur de la tension négative de grille. Le potentiomètre dans le troisième étage de l'amplificateur est comparativement de grande dimension et dissipe une puissance de plusieurs kilowatts. L'alimentation est fournie par un groupe comprenant un moteur asynchrone avec démarrage à distance et une génératrice à courant continu à

Digitized by Google

excitation variable, la tension désirée étant obtenue par réglage à partir du transmetteur radio.

L'alimentation en courant continu des anodes est fournie par des groupes moteur-générateur haute tension spéciaux de la British Thomson Houston Company, d'après les spécifications du Post-Office. Normalement, deux groupes de machines sont employés en série ; chacun consiste essentiellement en un moteur asynchrone triphasé à 2 000 V couplé à deux génératrices à courant continu connectées en série. Chaque génératrice donne une puissance de sortie de 250 kW à 3 000 V, les bases des machines sont isolées du sol et la connexion centrale des deux génératrices de chaque groupe au point neutre du stator du moteur est aussi reliée à la base de la machine. De cette façon, la différence de potentiel entre une partie quelconque de la machine et les bâtis de fonte est limitée à une valeur de 3 000 V. Lorsque les machines sont reliées en série et pour une tension fournie de 12 000 V, la première base est à 3 000 V et la seconde à 9 000 V par rapport à la terre. Le moteur de chaque groupe est alimenté à travers un transformateur d'isolement spécial. Chaque générateur est protégé par un disjoncteur extra rapide qui introduit une résistance de blocage limitant le courant dans l'induit et disjoncte en même temps l'alimentation du champ des génératrices. Le fonctionnement du disjoncteur de l'induit est extrêmement rapide et un court-circuit sur les barres d'alimentation des plaques n'a pas de conséquence fâcheuse au point de vue des machines d'alimentation.

L'impédance de la source de courant de plaque pour les courants pulsatoires alimentant l'amplificateur, doit être suffisamment basse pour éviter une remodulation par variation de la tension anodique. Il est plus difficile de remplir cette condition dans le cas d'un système transmetteur à une seule frange que dans le cas d'un système avec les deux franges et onde porteuse. Un condensateur de 10μf a été placé directement aux bornes de la machine haute tension, dans le but de réduire l'impédance de la machine à des valeurs satisfaisantes. L'alimentation haute tension à partir des machines courant continu se fait par des câbles se terminant dans des cabines blindées comprenant un commutateur de mise à la terre, un voltmètre haute tension et un disjoncteur dans l'huile contrôlé électriquement et prévu pour fonctionner en cas de surcharge ou par manque de courant dans une bobine de verrouillage.

Digitized by Google

Protection et contrôle.

Dans le but d'éviter des interruptions importantes du transmetteur et pour obtenir un fonctionnement régulier et efficace, il est clair que le système doit comprendre un ensemble de contrôle et de protection. La plus grande partie de l'équipement de contrôle est centralisée à une table de commande permettant à l'opérateur de vérifier à tout instant les valeurs des tensions et des courants dans les circuits les plus importants et de régler les tensions qui doivent être maintenues dans des limtes données. Des appareils de mesure sont disposés de façon à permettre la lecture du courant plaque d'un tube quelconque. Dans ce but, le courant parti du point milieu du secondaire du transformateur de chauffage est relié à la terre à travers un jack placé sur la table de contrôle ; en enfonçant une fiche dans ce jack, le courant de plaque du tube correspondant est dérivé par l'ampèremètre. On a prévu aussi des appareils pour la lecture du courant grille total de chaque étage d'amplification et de la tension alternative maximum de plaque sur le troisième étage. Ces appareils sont répartis sur les première et deuxième sections de gauche de la table de contrôle. Les appareils de la troisième section comprennent le voltmètre d'alimentation des filaments et le voltmètre d'alimentation des grilles de l'équipement préparatoire, le voltmètre de tension plaque de l'amplificateur à grande puissance, l'ampèremètre de courant plaque total, le voltmètre donnant la tension alternative primaire sur le circuit de chauffage de l'amplificateur. La section suivante comprend trois ampèremètres haute fréquence permettant la mesure du courant d'antenne et des courants haute fréquence dans la branche inductive et capacitive du circuit de sortie. Au-dessous de ces ampèremètres se trouvent 5 appareils de mesure plus petits ; le premier indique le volume des courants téléphoniques arrivant sur la ligne interurbaine de Londres à Rugby, le second indique la tension appliquée sur la grille de l'amplificateur de puissance et les trois derniers les amplitudes maxima des courants d'antenne. Un appareil indique la pression d'eau. Des thermomètres indiquent la température de l'eau de refroidissement après passage dans les diverses unités, et des compteurs électriques donnent la durée totale d'utilisation des tubes. Les thermomètres sont munis de contacts électriques qui font fonctionner des relais au cas où la température de l'eau dépasse une valeur donnée. Diverses machines peuvent être démarrées et arrêtées et les principaux disjoncteurs peuvent être ouverts et

Digitized by Google

fermés, au moyen de boutons de commande disposés sur la table de contrôle. Les circuits de contrôle sont verrouillés de telle sorte que les disjoncteurs d'alimentation ne peuvent être fermés que dans un ordre donné et sous certaines conditions. Par exemple, il n'est pas possible de fermer le disjoncteur des circuits de chauffage des filaments ou le disjoncteur d'alimentation plaque sans avoir préalablement une quantité suffisante d'eau de refroidissement en circulation à une température convenable. De même, il n'est pas possible de fermer le disjoncteur de plaque sans appliquer d'abord une tension négative de polarisation suffisante et sans fermer les différentes portes des entourages de protection. Un certain nombre de relais protège le transmetteur en cas de conditions de fonctionnement anormal ; par exemple, des relais sont mis en série dans la connexion venant du point milieu de chaque secondaire des transformateurs de filaments. Si le courant de plaque dans une des lampes dépasse une certaine valeur, le relais correspondant se ferme et coupe l'alimentation plaque du système. Des éclateurs de sécurité sont installés sur les barres mettant en parallèle les plaques et les grilles de chaque unité. Si une quelconque de ces barres vient à présenter une tension instantanée dépassant une valeur déterminée, une étincelle se produit à l'éclateur et le relais coupe l'alimentation plaque dans le cas d'un éclateur de plaque, et l'alimentation de la tension de polarisation dans le cas d'un éclateur de grille. Des relais contrôlent le courant et la température de l'eau ; si le courant d'eau est insuffisant ou si la température de l'eau est trop élevée, le disjoncteur plaque et le disjoncteur d'alimentation des filaments s'ouvrent automatiquement.

Lorsqu'une unité n'est pas en service, le couteau d'isolement du circuit plaque est ouvert et la barre haute tension de cette unité est mise à la terre. Ceci ferme automatiquement des contacts qui éliminent toutes les sécurités relatives à cette unité. Les essais sur l'unité sont ainsi facilités car il est possible alors de fermer les différents circuits sans avoir à suivre un ordre donné, ou de ne pas alimenter certains circuits de la même façon que dans les conditions de fonctionnement normal.

Le système de contrôle comprend aussi un certain nombre de lampes qui sont allumées par des contacts sur les différents relais, indiquant immédiatement l'origine de conditions anormales quelconques, elles évitent toute perte de temps dans la recherche de la cause d'un arrêt de fonctionnement.

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

I. — Principales décisions du Bureau en Avril 1927.

Le Bureau a décidé de déléguer M. Blondin pour représenter la Société Française des Electriciens à la Conférence Internationale de Bibliographie, qui se tiendra à Bruxelles du 23 au 24 juillet prochain.

II. — Visite des centres de labourage de la Société électrique de Travaux agricoles et d'une des usines de la Société française des poteaux électriques.

Le 12 mars 1927, grâce à la très aimable intervention de notre ancien Président M. Eschwége et à la bienveillance de M. Gouverneur, Administrateur délégué des deux Sociétés précitées, 80 membres de notre Société, sous la conduite de notre Président, M. Fabry prenaient place en auto-cars devant les bureaux du Nord Lumière, 4 rue de Vienne et étaient amenés, par Saint-Denis, Pierrefitte et Moissel au centre atelier de la Seta, à Belloy, où ils assistaient au démontage d'un matériel type lourd de 125 ch. De là, ils se rendaient, à Précy-sur-Oise où ils voyaient fabriquer, par le procédé Forclum, des poteaux, candélabres et consoles en béton centrifugé. Suivant ensuite les bords de l'Oise par Boran, Bruyères, Beaumont, l'Isle Adam, Mériel et Pontoise, ils arrivaient à Puiseux à l'un des chantiers de labourage électrique où est employé le matériel type Roundabout de 60 ch. Ils rentraient à Paris à 18 h. 30, très reconnaissants à tous ceux qui leur avaient ménagé une excursion d'un grand intérêt technique, dans un gracieux coin de l'Ile de France.

Les Directeurs des deux Sociétés ont bien voulu nous adresser, sur leurs travaux, les notes ci-après qui renseigneront nos très nombreux collègues qui n'ont pu trouver le temps de se joindre à l'excursion.

Digitized by Google

A) Société électrique de travaux agricoles.

1° Organisation générale

La S.E.T.A. a pour but de favoriser le développement des applications de l'électricité à la culture en général, et du labourage électrique en particulier. Elle y parvient en mettant à la disposition des agriculteurs ou des groupements d'agriculteurs, désireux de travailler leurs terres au moyen de l'électricité, le personnel technique, l'organisation spéciale et les ateliers de réparation qui sont absolument nécessaires.

Elle ne s'est occupée jusqu'à présent que du labourage électrique, se réservant d'étudier prochainement la question des battages et des autres travaux pour lesquels une puissance considérable est nécessaire (arrachage des betteraves, débardage, etc...).

Le contrat d'exploitation prévoit uniquement pour la S.E.T.A. l'obligation de labourer un nombre donné d'hectares par campagne, ce qui implique nécessairement :

1° L'obligation d'avoir des équipes spéciales contrôlées de très près, par conséquent une organisation méthodique de l'exploitation.

2° L'obligation d'avoir des ateliers de réparation parfaitement outillés où l'on puisse revoir les matériels chaque année après la campagne, et les remettre entièrement en état.

Une administration centrale dirige et contrôle des sous-directions régionales (centres), groupant un certain nombre de chantiers, chacun de ces chantiers ayant son matériel et son personnel propres.

Etant donné les difficultés de communiquer, la plus grande initiative est laissée aux sous-directeurs régionaux (chefs de centres) pour la gestion de leurs chantiers, mais sous le contrôle de l'Administration centrale.

Chaque chantier comprend un matériel complet (treuils et cabine de transformation, machines de culture) et quelques hommes placés sous la direction d'un chef de chantier responsable.

Ce chantier se déplace par ses propres moyens.

Le chef de chantier exécute les travaux suivant les ordres et les instructions générales du chef de centre auquel il adresse, dans un rapport journalier, des indications précises sur le travail exécuté, la consommation de courant et les incidents qui ont pu se produire.

Dans chaque région est établi un centre-atelier dont l'emplacement a été soigneusement étudié pour permettre toutes facilités d'accès et d'approvisionnement, et qui est choisi de préférence au centre de la

Digitized by Google

région considérée. Ce centre-atelier comprend un atelier de réparations, un magasin de pièces de rechange, un atelier de forge.

Relié à la haute tension (pour permettre les essais), il possède un petit poste de transformation alimentant les lampes, machines-outils, pompe à eau, etc..., et il est relié au réseau téléphonique interurbain.

Le chef de centre visite tous les chantiers placés sous son contrôle.

Il apporte les pièces de rechange aux chantiers, fait exécuter les réparations nécessaires, vérifie l'entretien des matériels, organise la marche du travail, relève les superficies labourées, envoie à l'administration centrale, après les avoir visés, les rapports journaliers des chantiers, commande au siège les pièces de rechange nécessaires et paie le personnel.

L'administration centrale comprend :

1° La direction proprement dite (contrôle, comptabilité, achats, etc...) ;

2° Un chef d'exploitation, chargé de surveiller les centres-ateliers et l'ensemble des chantiers ;

3° Un chef mécanicien toujours prêt à partir sur un appel téléphonique en cas de panne sur l'un ou l'autre des chantiers.

Les chefs de chantier, les chefs de centre, le chef d'exploitation et les ouvriers touchent une prime à l'hectare, mais ces derniers ne travaillent à la Société que pendant la campagne.

Le reste du temps, ils peuvent être utilisés pour la construction des lignes de labourage par les Sociétés d'Entreprise de Construction de Réseaux.

Dès qu'une campagne est terminée, les chefs de chantier ramènent leur matériel au centre atelier, le vérifient et le remettent en état.

Le 1er juillet, tous les matériels doivent être prêts à reprendre le travail.

2° Caractéristiques techniques des matériels employés.

1° *Matériel lourd type Société Générale Agricole (500 ha par campagne).*

Le chantier comprend 2 treuils automoteurs, une cabine de transformation, une ou deux charrues.

Les treuils sont placés à chaque bout du champ, et la charrue est tirée alternativement par l'un et par l'autre.

Digitized by Google

Au fur et à mesure de l'avancement du labour, les treuils avancent sur la fourrière.

La cabine de transformation, placée au pied de la ligne à haute tension, comprend : un transformateur 15 000/5 000 V avec un enroulement à 110 V pour la lumière et le comptage, un disjoncteur automatique 15 000 V, les sectionneurs, fusibles, appareils de comptage, etc...

Le courant à 5 000 V est transmis aux 2 treuils au moyen d'un câble souple isolé qui peut atteindre 1 600 m de longueur.

Le chantier se déplace au moyen d'un moteur à explosion placé sur chacun des treuils.

Poids de chaque treuil : 18 à 24 T.
Poids de la cabine de transformation : 5 à 8 T.
Puissance continue du moteur électrique 125 ch.
Puissance momentanée : 200 ch.
Puissance normale du moteur à explosion : 50 ch.
Longueur du câble de traction (longueur maxima du rayage) 650 m.
Vitesse du labour en km à l'heure : 3,250 et 4,500.
Vitesse sur route en km à l'heure : 2 à 3.
Superficie labourée par jour : 5 ha en gros labour ;
8 ha 5 en labour léger ;
15 ha en façon superficielle (déchaumage ou scarifiage).

Consommation 4 kWh en moyenne par centimètre de profondeur et par hectare.

2° *Matériel moyen type Roundabout* (*S. G. A.*) (*200 ha par campagne*)

Le chantier comprend 1 treuil à 2 tambours, une cabine de transformation, une charrue, 2 chariots d'ancrage et un certain nombre de poulies de renvoi et d'ancrage.

Le moteur électrique, placé sur le treuil, actionne alternativement l'un ou l'autre des tambours sur lesquels s'enroulent les deux câbles qui, en suivant le contour du champ à labourer, tirent alternativement la charrue dans l'un ou l'autre sens.

Au fur et à mesure de l'avancement du labour, les chariots d'ancrage se déplacent alternativement sur la fourrière.

La cabine de transformation comprend un transformateur 15 000/500 V, et les accessoires.

Digitized by Google

Le courant à 500 V est transmis au treuil au moyen d'un câble souple isolé qui peut atteindre 750 m de longueur.

L'équipement électrique du treuil comprend un disjoncteur et un contrôleur.

Le chantier est déplacé au moyen d'un tracteur ou d'attelages.

Poids du treuil : 8 T environ ;
Poids de la cabine de transformation : 2 T environ ;
Poids de la charrue : 2 T ;
Puissance continue du moteur électrique : 60 ch ;
Puissance instantanée du moteur électrique : 90 ch ;
Longueur du câble de traction : 1 100 m ;
Vitesse du labour en km à l'heure : 3,500 environ ;
Superficie labourée par jour : 2 ha en gros labour ;
Superficie labourable sans déplacement : 15 ha environ ;
Consommation : 4 kWh en moyenne par centimètre de profondeur et par hectare.

3° *Matériel léger type Estrade* (200 *ha par campagne*)

Le chantier comprend 2 treuils (automoteurs lorsqu'ils sont sous tension), une cabine de transformation et une charrue.

Les treuils sont placés à chaque bout du champ, et la charrue est tirée alternativement par l'un et par l'autre.

Au fur et à mesure de l'avancement du labour, les treuils avancent sur la fourrière.

La cabine de transformation comprend un transformateur 15 000/750 V et les accessoires.

Le courant à 750 V est transmis aux 2 treuils au moyen d'un câble souple isolé qui peut atteindre 1 000 m de longueur.

Le chantier se déplace par ses propres moyens lorsque les pièces sont contiguës, ou au moyen d'attelages ou d'un tracteur lorsqu'elles nécessitent un changement d'emplacement de la cabine de transformation. Un tracteur ou des attelages sont également nécessaires pour le déplacement d'une exploitation à l'autre.

Poids de chaque treuil : 4 T environ ;
Poids de la cabine de transformation : 2 T environ ;
Poids de la charrue : 2 T ;

Digitized by Google

Puissance continue du moteur électrique : 40 ch ;

Puissance momentanée : 60 ch ;

Longueur du câble de traction (longueur maxima du rayage) : 400 m ;

Vitesse du labour en km à l'heure : 4 environ ;

Superficie labourée par jour : 2 ha en gros labour ;
3 ha en labour léger ;

Consommation : 4 kWh environ par centimètre de profondeur et par hectare.

B) Société française de poteaux électriques.

Fabrication des poteaux en béton armé centrifugé.

Les poteaux en béton centrifugé dont la fabrication permet de réaliser de grandes portées, sont constitués par une armature métallique longitudinale en aciers ronds, enserrée entre deux frettages hélicoïdaux, l'un intérieur, l'autre extérieur, auxquels les barres d'acier de l'armature sont soudées électriquement. Cet ensemble constitue une forme tronconique rigide.

Cette forme est placée dans la partie inférieure d'un moule tronconique en bois armé divisé en deux éléments suivant un plan longitudinal médian.

Pour éviter que la forme ne se trouve directement en contact avec les parois du moule, on dispose hélicoïdalement sur sa périphérie des sortes de chapelets de petites cales en béton, reliées par un fil de fer doux ; l'écartement ainsi obtenu permet l'enrobement complet de l'armature métallique par le béton.

La partie inférieure du moule contenant la forme est alors dirigée par l'intermédiaire d'un chemin de roulement, sous une bétonnière qui la remplit de béton, sur toute sa longueur, cette opération faite, on fixe la partie supérieure du moule au moyen de boulons prévus à cet effet ; l'ensemble du moule est ensuite placé à l'aide d'un treuil et de palans à l'intérieur des tambours de la machine à centrifuger.

Celle-ci est constituée par une série de tambours, convenablement espacés, ayant un axe horizontal commun, centrés par l'intermédiaire d'un jeu de poulies disposées à 120° et supportées elles-mêmes par un bâti fixe.

Les tambours mobiles sont munis, sur leur périphérie intérieure,

Digitized by Google

d'un système de diaphragmes, qui permet de centrer et de maintenir le moule dans l'axe de la machine.

Tous les tambours sont commandés synchroniquement à l'aide de courroies par une transmission unique, actionnée elle-même par un moteur électrique à courant continu, d'une puissance de 75 ch environ, alimenté sous tension variable ; il est donc possible de faire varier sa vitesse dans de grandes limites.

Les transmissions sont calculées pour actionner le moule à une vitesse maximum de 600 t/mn.

Sous l'effet de la force centrifuge, qui se traduit par des pressions unitaires de 700 à 800 g/cm², le béton se répartit à la périphérie du moule et acquiert des qualités spéciales de résistance qui le différencient entièrement du béton moulé par les procédés habituels.

La machine est mise en route progressivement, la vitesse maximum est atteinte vers la fin de l'opération qui dure 15 minutes environ.

Le moule est alors sorti de la machine à l'aide d'un treuil et le démoulage peut s'effectuer après un repos de 12 heures. Le poteau est ensuite déposé dans un lit de sable humide et est arrosé abondamment ; 12 jours après, il peut être expédié par chemin de fer.

Caractéristiques des poteaux en béton armé centrifugé.

Les poteaux en béton centrifugé peuvent se mouler jusqu'à des longueurs de 25 m d'une seule pièce, et pour des efforts utiles au sommet de l'ordre de 4 T.

Les principaux avantages de ces poteaux sont leur durée pratiquement illimitée et leur sûreté en service, même pendant les plus fortes tempêtes ; ce fait a été confirmé par l'expérience dans les régions où ils sont employés (Suède, Italie) et où ils furent les seuls à résister sans aucun dommage aux intempéries les plus dangereuses. Ces qualités proviennent de l'élasticité de ces supports, due à l'homogénéité du béton centrifugé, à l'absence de vides, à la grande densité (supérieure de près de 8 pour cent à celle du béton tassé ordinaire) et aussi à l'adhérence parfaite du béton au fer ; l'armature est ainsi mise complètement à l'abri des atteintes de l'oxydation.

Leur homogénité élastique est démontrée par les essais effectués en exerçant au sommet du poteau un effort allant jusqu'à la rupture. Les premières fissures capillaires qui apparaissent dans la partie tendue sous un effort au sommet de 4 à 6 fois l'effort normal, sont régulièrement disposées à des distances égales les unes des autres.

Digitized by Google

Pendant cette première période élastique, le poteau reprend très exactement sa position primitive lorsque l'effort cesse. Le béton armé se comporte donc comme un corps homogène et l'axe neutre d'une section du poteau passera par le centre de gravité, coïncidant ainsi avec un diamètre de la section.

Au fur et à mesure de l'augmentation de l'effort, les fissures de la partie tendue deviennent plus profondes, et ainsi la section utile de béton tendu diminue, l'axe neutre se déplace vers la partie comprimée.

Avant la rupture, produite en général par le flambage des barres provoquant la désagrégation du béton (ce flambage venant lui-même de la rupture de la frette intérieure), seul le béton comprimé travaille encore.

Les essais ont montré que le béton tendu commençait à se rompre pour des tensions supérieures à 300 kg/cm² tandis qu'à la rupture, le béton comprimé travaillait de 500 à 600 kg/cm². Ce dernier chiffre, qui paraît très élevé, s'explique par le fait qu'une partie des efforts qui se produisent dans le béton sont absorbés par le frettage, dont il n'est pas tenu compte dans les calculs.

Remarquons d'autre part que la section annulaire du poteau est celle qui donne la plus grande valeur du rapport.

$$\frac{\text{moment résistant}}{\text{section}}.$$

Transport et levage.

Le transport des poteaux centrifugés ne présente pas de difficultés particulières, à condition de disposer d'un matériel approprié.

a) *Transport par chemin de fer.* — Au départ de l'usine, le chargement s'effectue directement sur les wagons à l'aide du pont roulant ; les poteaux sont placés sur des bois de calages présentant des alvéoles épousant la forme des poteaux, le chargement est convenablement brélé. A l'arrivée, le déchargement peut s'effectuer, soit à l'aide d'une grue, soit à l'aide de poulains de déchargement, la descente des poteaux est réglée par des palans.

b) *Transport sur route.* — Pour le transport sur route, on peut utiliser, soit un tracteur avec remorque, pourvus chacun d'un palonnier mobile sur un chemin de roulement, soit un tracteur avec fardier métallique à treuils, monté sur deux roues garnies de pneumatiques.

Digitized by Google

Dans le premier cas, il est nécessaire de charger sur le dessus à l'aide de grues ou de poulains; dans le deuxième cas, on engage simplement le fardier au-dessus du poteau et on peut le lever directement à l'aide de treuils.

c) *Transport dans les champs.* — On peut utiliser, pour ce transport, un fardier métallique comme précédemment, mais équipé avec des roues d'un grand diamètre (2 m environ) ayant une largeur de jante de 20 cm environ ; la traction doit être faite de préférence à l'aide de chevaux. On peut également hâler les poteaux, préalablement garnis de bois de protection, à l'aide d'un treuil convenablement amarré. On peut enfin utiliser, dans les cas difficiles, des éléments de voie de 0 m 60 et deux wagonnets à boggies, avec palonniers articulés, reliés par une barre d'accouplement.

Levage. — Le levage des poteaux centrifugés s'effectue par les procédés classiques.

Le plus simple comporte l'emploi d'une chèvre dont la hauteur est appropriée à celle du poteau ; par exemple, pour un poteau de 18 m, il est nécessaire de disposer d'un chèvre de 12,50 m.

Dans ce cas, le poteau, préalablement placé en travers de la fouille, est attaché en deux points par une élingue et le crochet de la chèvre est placé de telle manière que l'effort de levage s'exerce un peu au-dessus du centre de gravité ; ce procédé a l'inconvénient de nécessiter du personnel presque sous la charge.

Un autre procédé plus sûr consiste à utiliser la chèvre et un treuil indépendant. Dans ce cas, le poteau, placé dan un plan perpendiculaire à celui de la chèvre, est engagé préalablement dans la fouille, sa tête étant soulevée de 1 m environ à l'aide d'un cric; la chèvre, dressée entre le poteau et le treuil, est convenablement haubannée, le treuil est amarré dans le prolongement du poteau et le plus loin possible de la chèvre, le câble de traction, fixé à l'élingue du poteau, passe sur la poulie de tête de la chèvre et s'enroule sur le treuil, des cours de haubans sont placés en tête du poteau. Ces opérations effectuées, il suffit de manœuvrer le treuil et de maintenir les haubans, le poteau prend alors sa place, tout le personnel se trouve nettement en dehors de la zone dangereuse.

Si l'effort à exercer est trop considérable, on peut équiper le treuil à deux brins.

On peut, en variante, prévoir la rotation de la chèvre dans le même plan que le poteau, en prenant soin de caler convenablement les pieds

Digitized by Google

de la chèvre et en reliant sa tête au poteau d'une manière telle que l'angle axe du poteau, ou de la chèvre soit de l'ordre de 80°.

Le bétonnage du pied s'effectue comme pour les poteaux ordinaires, en égard au moment de renversement ; ce bétonnage peut être remplacé par des dalles en ciment armé, placées latéralement de part et d'autre de l'axe du poteau, l'une à la base, l'autre un peu au-dessous de l'encastrement et maintenues sur le corps du poteau par des colliers appropriés.

L'escalade des poteaux centrifugés se fait facilement à l'aide de grappins spéciaux.

Candélabres d'éclairage en béton armé centrifugés.

Les fûts sont centrifugés dans des moules comportant un garnissage en bois qui correspond à la section et au profil désirés.

Les bras et consoles sont moulés par les procédés ordinaires comme les bras d'armement des poteaux, et sont assemblés sur les fûts par des raccords.

En incorporant au béton des marbres ou autres composés, on obtient, après ponçage ou repiquage des candélabres, des effets décoratifs.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS [1]

SOMMAIRE

1re Section. — Le tracé des lignes de force, M. Perrin, p. 451. — Théorie analytique de la chaleur, M. Roth, p. 451. — Contribution statistique à la détermination des tolérances, M. Darrieus, p. 452. — Applications du klydonographe à l'enregistrement des surtensions dans les réseaux, M. Fallou, p. 456. — Une butée magnétique, M. Pestarini, p. 457.

2e Section — L'uniformité de l'éclairement sur les voies publiques, M. Wetzel, p. 461. — Visite au Studio Abel Gance, p. 463.

3e Section. — Rectification au procès-verbal de la séance du 15 janvier, M. Chaumat. p. 464. — Le facteur de puissance des fours à induction, M. Bunet, p. 465 — Programme des journées de discussions d'octobre, p. 469.

4e Section. — Emploi du fer galvanisé dans l'établissement des lignes électriques, p. 470. — Programme des travaux de la Section pour 1927, p. 470.

1re SECTION. — PRODUCTION

Présidence de M. P. Girault

Séance du 4 février 1927. — M. Perrin expose une communication sur *le tracé des lignes de force*, qui sera publiée dans un bulletin ultérieur.

M. Roth présente une communication de M. Lehmann par laquelle il fait remarquer que la formule, dite de Schwarz, a été découverte, deux années avant Schwarz, par Christofeld à Zurich.

M. Roth signale comme application intéressante des transformations conformes, un travail de M. Peters sur la répartition de la température dans l'isolant entre deux conducteurs logés dans une encoche.

Il commence l'exposé d'un problème de la *théorie analytique de la chaleur*, dont la solution peut être appliquée directement à un cas de distribution de lignes de forces magnétiques.

La solution de M. Roth, est une *unique* série double de Fourier qui donne la valeur du potentiel quelle que soit, dans l'espace considéré, la répartition des régions répondant, soit à la condition de Poisson, soit à celle de Laplace ; cette solution diffère de celles proposées par d'autres auteurs, dans lesquelles une série est à affecter séparément à chacune des régions.

---

(1) Tout membre de la Société française des Electriciens peut, en adressant une demande au Délégué général, 14, rue de Stael, être convoqué aux séances des sections.

Digitized by Google

SÉANCE DU 4 MARS 1927. — M. DARRIEUS apporte une *contribution statistique à la détermination des tolérances.*

Il a déjà été signalé, lors de la réunion de Genève de la commission Electrotechnique Internationale, en novembre 1922, par le Dr Rüdenberg, que la notion de tolérance pouvait trouver une justification rationnelle dans l'intérêt qu'il y a à distinguer, pour un ensemble d'objets construits en grande série, deux sortes de garanties ; la garantie proprement dite, en deçà de laquelle tout exemplaire particulier peut être, soit refusé, soit soumis à pénalité, et la garantie moyenne relative à tout l'ensemble de la série. La différence de ces deux valeurs est précisément la tolérance, et toutes deux présentent un intérêt pratique, non seulement parce que, pour une société de distribution par exemple (1), le rendement moyen de ses nombreux transformateurs de petite puissance est, sauf les risques d'avaries, plus important que les résultats individuels, mais aussi parce que la tolérance donne une mesure concrète de la régularité de la fabrication et de la sûreté des garanties.

Ainsi conçue, la tolérance doit trouver sa base objective dans une investigation expérimentale des écarts réellement constatés entre les résultats d'une même fabrication caractérisée, pour l'obtention d'un produit déterminé, par une main-d'œuvre, des matières, des procédés et un contrôle déterminé.

L'expérience montre alors que, si l'on mesure, par exemple, les rendements d'un grand nombre d'exemplaires d'un type de machine, la répartition des diverses valeurs obtenues entre les individus est conforme à la loi des erreurs de Gauss, c'est-à-dire :

1° Qu'il existe une prédominance marquée des valeurs voisines de la valeur moyenne, qui se trouve donc en même temps la plus probable.

2° Que la probabilité des valeurs du rendement s'écartant de part et d'autre de la moyenne décroît rapidement au fur et à mesure que cet écart croît, mais que la forme asymptotique de la courbe en cloche, représentative de cette loi de répartition de Gauss, ne permet d'assigner aucune limite définie à l'écart maximum que l'on peut être assuré de ne pas dépasser (au moins du côté des faibles rendements), et qu'il est seulement possible de définir une probabilité aussi petite

(1) Le cas de l'acheteur isolé se ramène au fond à celui d'une collectivité si, comme il est d'usage par exemple en statistique financière, on le considère comme une entité abstraite dont l'intérêt moyen seul importe.

Digitized by Google

que l'on veut, 1/100, 1/1 000... etc., quoique jamais nulle, qu'un écart donné, si grand soit-il, ne soit pas dépassé.

3° La répartition ou la forme de la courbe représentative sont entièrement définies par la connaissance, outre de la position de la moyenne, de l'écart appelé « probable », c'est-à-dire en deçà duquel, de part et d'autre, rentrent la moitié des cas ; cette répartition, que les problèmes de réglages du tir ont rendu familière, est représentée par la figure ci-contre qui donne, sur 100 cas, le nombre de ceux tombant respectivement dans les 8 intervalles de 1 écart probable qui encadrent la moyenne et rassemblent plus de 99 pour cent des cas. Il

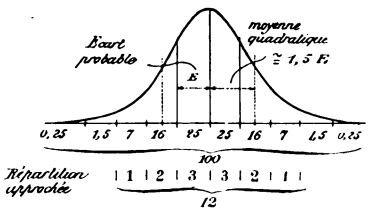


Fig. 1. — Courbe de répartition des cas possibles.

en résulte que, si l'on définit la tolérance par la condition qu'elle ne soit dépassée que pour une proportion de 2 pour cent seulement des machines formant un lot répondant à certaines garanties, sa valeur doit atteindre environ 3 écarts probables ; les bandes extrêmes, mêmes si l'on y rattache les écarts très rares dépassant 4 écarts probables, ne contiennent, en effet, de chaque côté, que moins de 2 pour cent des cas.

Il convient surtout d'insister sur ce que seul l'écart probable est ainsi accessible à la mesure, tandis que l'écart maximum, très variable d'une série particulière à l'autre, et croissant indéfiniment lorsque l'on augmente le nombre des observations, n'a aucune signification statistique.

Pratiquement, l'écart probable peut se déduire de l'écart quadratique moyen (1), racine carrée de la moyenne des carrés des écarts par rapport à la moyenne, pour un nombre très grand d'observations, et qui est environ 1,5 fois plus grand (2). Si le nombre des observations

(1) Ou efficace, dans le sens usuel en électrotechnique.
(2) Rigoureusement 1 : 0,6745.

Digitized by Google

est limité, la somme des carrés de ces écarts à la moyenne correspondante doit être divisée par leur nombre moins un.

Si une grandeur est la somme de plusieurs autres indépendantes, de sorte que l'écart E qu'elle présente par rapport à la moyenne est la somme des écarts e de ses diverses parties, le carré de l'écart probable résultant est la somme des carrés des écarts probables composants.

En effet :

$$E = e_1 + e_2 + \cdots,$$

$$E^2 = e_1^2 + e_2^2 + \cdots + 2e_1e_2 + \cdots.$$

Or, puisque les écarts partiels ont été supposés indépendants, dans la somme des termes rectangles, toute valeur e_1 d'un écart partiel se trouve associée successivement aux diverses valeurs possibles de l'écart e_2 dont le signe est tantôt positif, tantôt négatif, de sorte que la moyenne de ces termes rectangles est nulle, et que :

$$\text{moyenne de } E^2 = \text{moy.}(e_2) + \text{moy.}(e_2^2) + \cdots.$$

Ceci justifie par exemple, pour les pertes totales, l'adoption d'une tolérance relative inférieure aux tolérances admises pour les pertes partielles, car la probabilité que les écarts extrêmes correspondant aux limites de tolérances se rencontrent simultanément avec le même signe et s'ajoutent, est évidemment beaucoup moindre que celle de chacun de ces événements pris en particulier.

Si, par exemple, les pertes dans le fer et dans le cuivre d'un transformateur sont égales et soumises chacune à une tolérance de 10 pour cent, la tolérance relative pour la perte totale devra être :

$$\frac{1}{2}\sqrt{10^2 + 10^2} \quad \text{soit} \quad \frac{10}{\sqrt{2}} \quad \text{ou 7 pour 100.}$$

Application : Essai de 12 moteurs asynchrones triphasés 50 p : s, 4 pôles, 1,5 kW, 200/350 V., 6,5/3,8 A. 1 420 t : mn.

Les pertes à vide mesurées ont été respectivement en watts :

224, 230, 224, 240, 224, 234, 224, 250, 238, 218, 232, 260

ou

$$220 + 4 + 10 + 4 + 20 + 4 + 14 + 4 + 30 + 18 - 2 + 12 + 40$$

total 158.

$$\text{moyenne } 220 + \frac{158}{12} = 220 + 13 = 233.$$

Digitized by Google

Les carrés des écarts par rapport à 220 sont : 16, 100, 16, 400, 16, 196, 16, 900, 324, 4, 144, 1 600 dont la somme est 3 732.

La somme des carrés des écarts à la moyenne s'obtiendra en en retranchant 12 fois le carré de 13 (ou 233 — 220) soit :

$$12 \times 169 = 2\,028,$$

ce qui laisse $3\,732 - 2\,028 = 1\,704$ et donne pour l'écart quadratique moyen :

$$\sqrt{\frac{1704}{12-1}} = \sqrt{155} = 12{,}5 \text{ W.}$$

ou

$$\frac{12{,}5}{233} = 5{,}3/100.$$

Les pertes en court-circuit sont de même :

222,5, 222,5, 230, 230, 220, 237,5, 220
235, 227,5, 220, 225,

ou

$$220 + 2{,}5 + 2{,}5 + 10 + 10 + 0 + 17{,}5 + 0 + 15 + 7{,}5 + 0 + 5 + 5$$

total 75 :

$$\text{moyenne } 220 + \frac{75}{12} = 220 + 6{,}25 = 226{,}25.$$

Carrés des écarts par rapport à 220 :

6,25, 6,25, 100, 100, 306, 225, 56, 25, 25, dont la somme est 849,5.

Somme des carrés des écarts à la moyenne :

$$849{,}5 - 12 \times \overline{6{,}25}^2 = 849{,}5 - 469 = 380{,}5.$$

Moyenne quadratique :

$$\sqrt{\frac{380{,}5}{12-1}} = \sqrt{34.6} = 5{,}9 \text{ W.}$$

ou

$$\frac{5{,}9}{226\ 25} = 2{,}6/100.$$

La moyenne quadratique des pertes totales sera donc :

$$\sqrt{155 + 35} = \sqrt{190} = 13{,}8 \text{ W.}$$

ou

$$\frac{13{,}8}{233 + 226} = 3 \text{ pour 100 des pertes totales (1).}$$

(1) C'est-à-dire moindre que la moyenne correspondante pour les pertes dans le fer (5,3 pour 100).

Digitized by Google

et la tolérance correspondant à moins de 2 : 100 de rebut devra être double (ou triple de l'écart probable) ; soit 27,6 watts ou

$$\frac{27{,}6}{233 + 226} = 6 \text{ pour } 100 \text{ des pertes totales.}$$

Applications du klydonographe à l'enregistrement des surtensions dans les réseaux. — M. Fallou fait une brève description du klydonographe, et montre que cet appareil est un voltmètre à effluves utilisant des principes découverts depuis bientôt quarante ans, en France en particulier par Trouvelat, Leduc, etc.

Cet appareil est utilisé aux Etats-Unis par un grand nombre de Sociétés de Distribution, mais il semble à M. Fallou que les différents résultats publiés manquent de cohérence et conduisent même à des conclusions qu'il est difficile, *a priori*, d'admettre : entre autres que la très grande majorité des surtensions enregistrées serait due à des ondes apériodiques systématiquement positives.

Avant de passer à la critique de ces résultats, M. Fallou rappelle les données expérimentales acquises actuellement, et présente une série de klydonogrammes relevés avec des ondes polarisées positives ou négatives et avec des ondes alternatives plus ou moins amorties.

Les ondes positives fournissent des figures dont le diamètre est pratiquement indépendant de la fréquence de l'onde, et fonction seulement de son amplitude ; les ondes négatives fournissent des figures de 2,5 à 3 fois plus petites que celles des ondes positives de même amplitude, le diamètre de ces figures négatives étant d'ailleurs assez variable avec la fréquence; enfin, les ondes alternatives amorties fournissent des images résultant de la superposition d'images positives et négatives de grandeur décroissante et, si le centre de figure se trouve masqué, il est généralement impossible de distinguer l'image fournie par une onde alternative amortie de celle fournie par une onde apériodique positive.

Si un klydonographe est branché sur un réseau, l'appareil enregistre, en l'absence de toute surtension, une image entièrement opaque correspondant à la tension de crête du réseau. Les images dues aux surtensions se superposent à cette première image, toute surtension due à une onde négative et dont l'amplitude ne dépasse pas trois fois la tension normale restera invisible, tandis que toute surtension due à une onde alternative amortie donnera une figure impossible à différencier de celle d'une onde positive.

Digitized by Google

M. FALLOU rappelle que la G.E.C° a tout récemment proposé (1) un montage de deux klydonographes qui permet l'enregistrement des ondes négatives en lui faisant correspondre des images positives, mais montre que, même avec ce montage beaucoup plus correct, on ne peut pas conclure avec certitude qu'une onde soit apériodique, si la grandeur de la surtension enregistrée ne dépasse pas le triple de la tension normale.

Enfin, M. FALLOU critique l'emploi de potentiomètres à capacités microscopiques tels que ceux qu'utilisent généralement les Américains, et qui a pour effet de rendre les indications des klydonographes sensibles à la fréquence de l'onde de surtension, une onde alternative amortie de fréquence fondamentale relativement basse, et dont le premier front est très abrupt, risque de fournir une figure correspondant à la polarité de ce front raide.

A titre d'exemple d'application de recherches effectuées au moyen du klydonographe, M. FALLOU cite une expérience montrant qu'une bobine de self inductance, dite de protection, placée aux bornes d'un transformateur, peut multiplier par 6 l'amplitude d'une onde transitoire, engendrée aux bornes de la self par la décharge à une extrémité libre d'un câble de 50 mètres de longueur.

Une Butée Magnétique, par M. PESTARINI. — M. PESTARINI établit d'abord la formule suivante (1) qui exprime la force F :

$$F = 2n^2h^2I_a^2 \frac{d\mathfrak{P}}{dx} K_1K_2, \quad \ldots \qquad (18)$$

n, nombre de spires du stator par phase et par pôle ;
h, nombre des phases du stator ;
I_a partie du courant efficace statorique qui revient à l'entrefer ;
$\mathfrak{P}$, perméance d'une couche d'air ayant une épaisseur égale à celle de l'entrefer et une surface rectangulaire, dont une dimension est égale à la longueur du paquet de tôles de la machine et dont l'autre dimension est égale au développement de la périphérie du rotor ;
x, est compté suivant l'axe de l'arbre de la machine ;
K_1, coefficient de Blondel pour les bobinages enchevêtrés à plus

(1) *General Electric Review*, Mars 1927.
(2) Les calculs de M. PESTARINI, seront intégralement développés dans un prochain numéro de « Electricité et Mécanique ».

Digitized by Google

d'une encoche par pôle et par phase (1) (K_1 est inférieur à l'unité) ;

K_2, rapport de l'amplitude fondamentale à l'ordonnée maxima du du champ créé par une phase si elle existait seule (2).

L'artifice employé consiste essentiellement dans l'aménagement, le long de l'entrefer, de parties alternativement plus réluctantes et moins réluctantes. Une disposition très simple est représentée schématiquement par la figure 1 qui donne une coupe de l'entrefer ; celui-ci est subdivisé en anneaux d'air d'une épaisseur alternativement petite et grande.

Supposons, pour la simplicité, que l'alésage maximum et minimum du stator soit toujours le même, comme aussi le diamètre externe maximum et minimum du rotor. Comme l'indique la figure 1, soit e_0 l'épaisseur de l'entrefer minimum ; c_1 et c_2 la dépression du stator et du rotor respectivement.

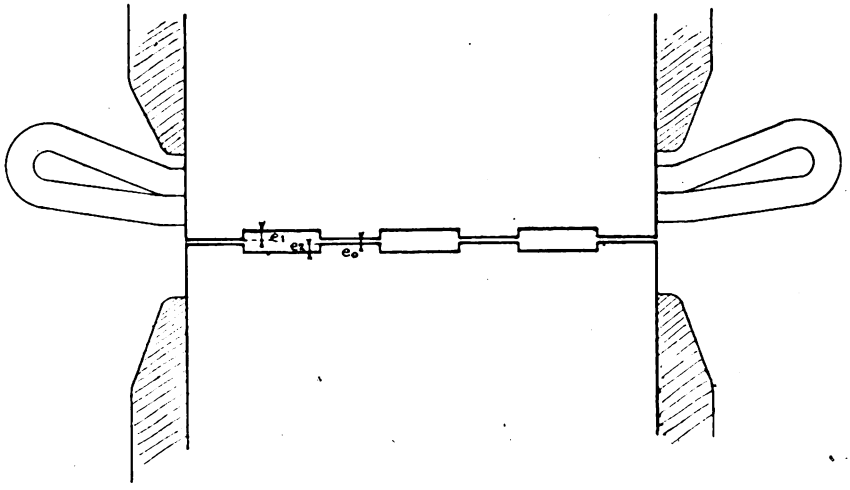


Fig. 1. — Butée magnétique Pestarini.

Pour appliquer la formule (18) il faut connaître les franges magnétiques mais, tandis que, dans le cas d'un alésage stator et d'un diamètre rotor constants, l'influence des franges magnétiques se fait sentir fortement pour une course ou un excentrage x assez grand, cette influence est pratiquement très faible pour le cas de l'entrefer denturé comme celui de la figure 1 aussitôt que la course x est plus

(1) JANET, *Electrotechnique générale*, t. III, ch. v.
(2) JANET, *Electrotechnique générale*, t. II, ch. III.

Digitized by Google

grande que trois fois l'épaisseur minimum e_0 de l'entrefer. En admettant donc un nombre total de dents N de l'entrefer assez grand, nous pourrons, sans commettre une grande erreur, calculer $\frac{d\mathcal{R}}{dx}$ sans tenir compte des franges, en admettant, par conséquence, que les lignes de force dans l'entrefer soient toujours radiales, à l'exclusion de toute autre ligne de force.

Partant de cette hypothèse, on trouve facilement :

$$\frac{d\mathcal{R}}{dx} = -\pi d\left[\frac{N}{e_0} - \frac{N-1}{e_0+e_1} - \frac{N-1}{e_0+e_2} + \frac{N-1}{e_0+e_1+e_2}\right], \quad \ldots\ (19)$$

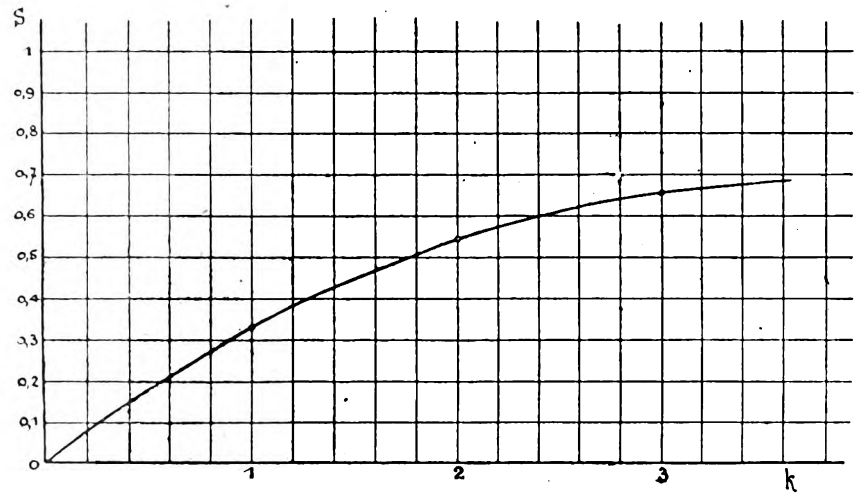


Fig. 2. — Courbe donnant S en fonction de K.

Si en particulier l'on a $e_1 = e_2 = ke_0$, (19) se réduit à :

$$\frac{d\mathcal{R}}{dx} = -\frac{\pi d}{e_0}\left[N + \frac{N-1}{1+2k} - 2\frac{N-1}{1+k}\right] = -\frac{\pi d}{e_0}[1 + (N-1)S], \quad (20)$$

où d est le diamètre moyen de l'entrefer et S une fonction de k qui résulte de l'identité (20). La courbe de la figure 2 représente cette fonction de k.

Si, par exemple, on a $e_0 = 1$ mm, $k = 1{,}5$ et $N = 20$, l'on a $1 + (N - 1)\ S = 9{,}5$ c'est-à-dire que l'effort donné par l'artifice est environ dix fois plus grand que l'effort fourni par le stator et rotor lisses comme d'habitude, quand on échappe à l'influence des franges. En pratique, pour une course de 4 mm, pour le cas de l'exemple choisi plus haut, et pour $d = 200$ mm par exemple, l'influence des franges pour l'entrefer denturé est négligeable, tandis

Digitized by Google

que pour l'entrefer lisse elle est telle que l'effort est de l'ordre du $\frac{1}{10}$ de celui qui existerait pour une direction radiale des lignes de force à l'exclusion de toute autre. De sorte que, pratiquement, l'artifice donne, pour le cas de l'exemple choisi plus haut, une force d'un ordre cent fois plus grand que celle fournie par un rotor et stator lisses, lorsque l'excentrage est de quelques mm.

On peut mesurer maintenant facilement l'intérêt de cette butée; elle agit dans les deux sens, élimine les difficultés de la lubrification si délicate des butées, elle agit avec élasticité et souplesse, car l'effort magnétique est une fonction croïssante avec l'excentrage. Ces qualités sont d'autant plus appréciables que la vitesse de rotation est grande. Par contre, cette butée a l'inconvénient de demander une puissance magnétisante plus grande.

Ainsi, nous avons adopté avec plein succès cette butée pour le cas d'une machine à 6 000 t/mm. Pour l'essai de vérification de l'effort de butée, une sorte de balance appuyait sur l'extrémité de l'arbre par une grosse bille pour laisser libre le mouvement de rotation du moteur.

Le calcul numérique, application des formules développées plus haut, s'est écarté des résultats d'essai de 10 pour cent environ, ce qui est largement suffisant pour ce genre de calculs.

L'idée fondamentale de l'artifice étant émise, on peut facilement construire des variantes. Par exemple, au lieu d'employer des anneaux de faible entrefer, on peut aménager des hélices multiples, le rotor sera alors animé d'un mouvement longitudinal régulier, car il suivra un peu l'hélice et ensuite il décrochera, ou bien il la suivra en sens inverse si elle a été prévue ainsi ; ce mouvement de va et vient régulier est utile pour certaines machines.

Au lieu d'une machine tournante, on peut considérer un simple électro et alors avec les anneaux on aura un grand effort simplement; avec des hélices, on aura un grand effort et un couple ou un mouvement rotatif simultanément.

L'on voit aisément que l'effort décroît un peu avec la charge dans les moteurs asynchrones, mais d'une quantité très faible (quelques centièmes) pour un moteur de glissement ordinaire.

Nous avons considéré plus haut un moteur asynchrone, mais on peut passer à d'autres machines facilement.

Digitized by Google

Ainsi, pour passer à un alternateur, nous pouvons faire le raisonnement suivant :

L'inducteur d'un alternateur est assimilable, pour le cas qui nous occupe, à un rotor de moteur asynchrone biphasé qui tourne au synchronisme et se trouve toujours à l'état où un des deux courants est nul et l'autre maximum.

Pour passer à la formule applicable immédiatement à l'alternateur, nous prendrons le rotor comme primaire et nous aurons $k = 2$ et, si T_a sont les ampères tours par pôle de l'inducteur dévolus à l'entrefer, nous les diviserons par $\sqrt{2}$ pour tenir compte que T_a est la va-

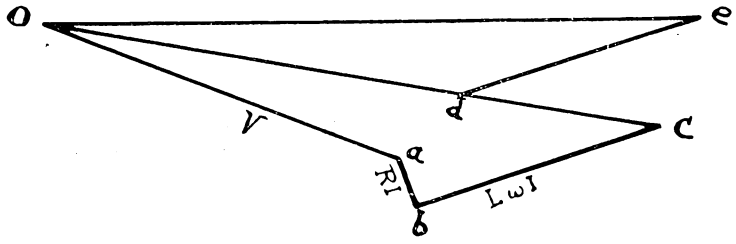


Fig. 3 — Diagramme de Potier.

leur maxima d'une quantité supposée sinusoïdale. Donc la formule deviendra :

$$F = 2K_1K_2 2^2 \left(\frac{T_a}{\sqrt{2}}\right)^2 \frac{d\mathfrak{P}}{dx} = 4K_1K_2T_a^2 \frac{d\mathfrak{P}}{dx}, \quad \ldots \quad (21)$$

Si l'on considère le diagramme de Potier (figure 3), T est la partie de *od* absorbée par l'entrefer. On voit aisément que l'effort F augmente, cette fois, avec la charge.

2e SECTION. — ECLAIRAGE ET CHAUFFAGE

Présidence de M. Maurice Leblanc

Séance du 15 février 1927. — *L'uniformité de l'éclairement sur les voies publiques*, par M. Wetzel. — Après avoir critiqué la définition actuelle du coefficient d'uniformité, qui varie en sens inverse de l'uniformité même de l'éclairement, M. Wetzel montre qu'une définition, qui ne tient compte que des valeurs extrêmes de l'éclairement sur une surface donnée, est tout à fait insuffisante, puisque des répartitions très différentes de l'éclairement au point de vue uniformité, peuvent être

Digitized by Google

représentées par le même coefficient, si les valeurs extrêmes sont les mêmes. Les valeurs intermédiaires doivent donc être également envisagées dans le calcul du coefficient d'uniformité. M. WETZEL propose la définition suivante : Si E désigne l'éclairement sur une portion dS de la surface S, E_m l'éclairement moyen sur cette surface, la différence $E - E_m$, en valeur absolue, représente l'écart de l'éclairement correspondant à la surface dS à l'éclairement moyen E_m. L'écart relatif moyen des éclairements sur toute la surface S est :

$$\frac{\int [E - E_m] dS}{E_m S}.$$

Le coefficient d'uniformité serait alors défini par l'expression :

$$u = 1 - \frac{\int [E - E_m] dS}{E_m S}.$$

Si on a toujours $E = E_m$, on a $u = 1$ (cas de l'uniformité maximum). u peut donc varier de 0 à 1.

On peut également définir un coefficient d'uniformité le long d'une ligne OX. On aurait dans ce cas entre points d'abscisses $x = x_0$ et $x = x_1$

$$u = 1 - \frac{\int_{x_0}^{x_1} [E - E_m] dx}{E_m (x_1 - x_0)}.$$

Les coefficients ainsi définis, ne tiennent compte que des écarts des éclairements avec l'éclairement moyen et de l'étendue des surfaces auxquelles s'appliquent ces écarts, mais non de l'ordre dans lequel ces écarts sont rencontrés. Or il n'est pas indifférent pour l'œil, au point de vue de son adaptation, de rencontrer ces éclairements dans un ordre régulièrement croissant ou décroissant, ou dans un ordre quelconque. On peut donc envisager la régularité des éclairements le long d'une ligne donnée, et l'évaluer au moyen d'un coefficient appelé « *coefficient de régularité* », que l'on pourrait définir comme le coefficient d'uniformité de la courbe $\gamma = \frac{dE}{dx}$ le long de cette ligne. Si la courbe $E = f(x)$ est une droite, le coefficient de régularité est égal à 1. Plus cette courbe s'écarte de la droite, plus le coefficient de régularité diminue.

Si l'on considère une ligne de foyers, comme dans le cas de l'éclairage des rues, les coefficients d'uniformité et de régularité le long

Digitized by Google

d'une droite parallèle à l'axe de la rue, sont des fonctions du rapport S de l'écartement D des foyers à leur hauteur H.

On peut donc représenter ces coefficients par des courbes en fonction de S. Ces courbes, construites une fois pour toutes pour un appareil donné, pourraient servir à calculer, dans un projet d'éclairage, l'écartement des foyers correspondant à un coefficient d'uniformité donné.

Sur la demande de M. le Président, M. WETZEL présentera, dans une prochaine séance, des courbes de coefficient d'uniformité relatives à divers appareils d'éclairage public.

M. CALLOU rappelle les définitions données pour la régularité des volants, et fait remarquer qu'elles sont loin d'être concordantes.

M. WETZEL insiste sur le fait que les définitions données en mécanique ne tiennent compte que des valeurs extrêmes, ce qui peut ne pas avoir d'inconvénients dans le calcul d'un volant, mais en avoir d'importants dans le cas d'un projet d'éclairage.

Visite du 25 mars 1927 au Sudio Abel Gance, 49, Quai du Point du Jour à Billancourt. — Cette visite avait pour but l'étude du fonctionnement de l'éclairage dans un studio.

Les Membres de la Section ont assisté à diverses prises de vues intéressant, soit des sujets isolés, soit des vues d'ensemble.

L'éclairement très intense nécessaire pour ces opérations était produit par des appareils de types très divers : projecteurs utilisant l'arc électrique et portants équipés, soit avec des arcs en vase clos, soit avec des tubes à vapeur de mercure.

Les couleurs de décors, des costumes et des grimages étaient calculées de façon à donner le résultat le meilleur, au point de vue photographique.

Dans ce studio, une partie importante du flux lumineux est produite par un projecteur de grandes dimensions, placé à une certaine hauteur pour donner un faisceau plongeant.

D'autres projecteurs à arc, ainsi que les portants à arcs en vase clos ou à tubes à vapeur de mercure, montés sur des bâtis métalliques munis de roulettes, peuvent être déplacés suivant les besoins.

Malgré la qualité de l'éclairage obtenu et l'ingéniosité de certains dispositifs, il semble que des progrès sont encore à réaliser, tant au point de vue du montage des appareils, qu'au point de vue du rendement lumineux de l'ensemble.

Digitized by Google

Il serait désirable que l'industrie française soit en mesure de construire certains types d'appareils que l'on est, jusqu'ici dans l'obligation de se procurer auprès des maisons étrangères.

3e SECTION. — ÉLECTROCHIMIE. — ÉLECTROMÉTALLURGIE. PILES. — ACCUMULATEURS

Présidence de M. CHAUMAT

SÉANCE DU 12 FÉVRIER 1927. — Le procès-verbal de la précédente séance est lu et adopté. A cette occasion, M. CHAUMAT fait observer que l'hypothèse qui vient d'être rappelée relativement à son procédé de *réduction électrolytique de l'indigo bleu en indigo blanc*, hypothèse suivant laquelle le phénomène résulterait de l'action du sodium monoatomique libéré à la cathode, est, semble-t-il, assez peu vraisemblable. En effet, la molécule d'indigo blanc dérive de celle d'indigo bleu, non pas par une perte d'oxygène ou par un gain de sodium, mais par un gain d'hydrogène.

M. LEVASSEUR répond qu'il ne voit pas dans ce fait une raison suffisante de rejeter l'hypothèse précitée. D'abord, l'hydrogène nécessaire peut être engendré par réaction secondaire ($Na + H^2O = NaOH + H$). De plus, alors que le potentiel de décharge d'$\dot{H}$, en solution alcaline normale, a pour valeur 0,8 V dans le cas de la décomposition primaire de l'eau, il devient égal à 0,9 V dans le cas de la décomposition secondaire (par Na). Il y a donc alors une surtension de 0,1 V qui favorise la réduction. Celle-ci étant très intense, il est donc logique d'admettre qu'elle s'effectue bien par le second mécanisme, c'est-à-dire qu'elle résulte de la décharge des ions $\dot{Na}$ et de la décomposition de l'eau par le sodium libéré. Ainsi, l'hypothèse émise par M. FERY pour l'interprétation du procédé CHAUMAT, se trouve en plein accord avec les faits expérimentaux.

M. CHAUMAT répond qu'il lui est toujours apparu comme certain que l'hydrogène servant à la réduction provenait, en effet, de l'action secondaire du sodium sur l'eau. En même temps que deux atomes d'hydrogène se dégagent et réduisent une molécule d'indigo bleu à l'état d'indigo blanc, deux molécules de soude caustique se forment, c'est-à-dire la quantité de soude juste nécessaire et suffisante pour dissoudre l'indigo blanc formé.

Digitized by Google

D'autre part, la réduction s'opère à de très grandes densités de courant (de l'ordre de celles utilisées dans la fabrication du chlorate de potasse) et l'on n'aperçoit jamais aucun dégagement d'hydrogène.

Le facteur de puissance des fours à induction, par M. BUNET.

1. — Les fours à induction de basse fréquence, connus depuis longtemps, ont été présentés à la Section dans une description avec historique en février 1924. Industriellement, la première réalisation semble être celle de Kjellin en 1900. Le four est un transformateur de modèle presque normal, dont le secondaire est une rigole contenant de l'acier fondu, assez éloignée du primaire (la distance est de l'ordre du décimètre). Le facteur de puissance tombe à cause de la dispersion produite par cet écartement des circuits. Ainsi, un four de 165 kW, donnant 7 V, 30 000 A dans la spire secondaire, a dû être alimenté à $f = 13,5$ pour obtenir au primaire $\cos\varphi = 0,635$. Si on avait employé $f = 50$, on voit qu'on aurait eu tout au plus l'ordre de 0,2. C'est un four de 1 tonne.

Aux Etats-Unis, on a construit des fours jusqu'à 20 tonnes. Alors on a $\cos\varphi = 0,5$, mais avec $f = 5$ seulement. Avec $f = 50$, ces mêmes fours donneraient environ 0,05. Les machines de basse fréquence sont très lourdes ; la transformation donne un assez mauvais rendement.

2. — Puis apparurent des fours à très haute fréquence 5 000, 10 000 et au delà, comme ceux que nous a présentés M. RIBAUD. L'appareillage employé est celui qui utilise la décharge oscillante des condensateurs et les éclateurs entre pointes ou boules. Cet appareillage ne permet pas de dépasser quelques dizaines de kW. Les alternateurs sont délicats et très coûteux. On s'aperçut que, pour beaucoup d'opérations, on peut abaisser la fréquence de 500 à 2 000 p : s et les alternateurs sont alors plus faciles à construire. L'effet de peau magnétique des tôles ne se fait encore guère sentir avec des épaisseurs commerciales.

On fait aux Etats-Unis de ces fours, toujours sans fer, composés d'une hélice de tube de cuivre ou de bandes peu sensibles à l'effet Kelvin, dans laquelle on place un creuset contenant un métal ou l'alliage à fondre. On atteint des centaines de kilowatts. Le facteur de puissance est bas ; on le remonte souvent par des condensateurs. Ces appareils ont une puissance apparente qui croît théoriquement comme la fréquence, mais pratiquement un peu moins vite.

Digitized by Google

3. — Enfin, on réalisa dernièrement des fours de fusion de la forme d'un transformateur à noyau magnétique, qui marchent à 50 p : s généralement. Le secondaire est une spire menue, peu épaisse, se rapprochant du volume du secondaire d'un transformateur ordinaire. Le métal fondu de cette spire est automatiquement expulsé dans un creuset plus vaste qui n'intervient pas électriquement, en même temps que s'opère un retour de métal dans la spire.

4. — *Facteur de puissance des fours à circuit magnétique fermé, de fréquence normale et basse.* — Un transformateur à deux enroulements concentriques de distance c, d'épaisseur e_1 et e_2, de hauteur h, de rayon moyen R, est caractérisé par une inductance de dispersion :

$$l = 8{,}4 \frac{R}{h} \left(c + \frac{e_1 + e_2}{3} \right) 10^{-8} \text{ henrys}$$

ramenée à une spire par circuit et par colonne enroulée.

Un transformateur de 500 kW utiles au secondaire, fermé sur résistance pure, absorbe au primaire 506 kW actifs et

$$20 \text{ kVA} + 24{,}6 \text{ kVA}$$

de puissance réactive pour le noyau de fer et la dispersion ; alors $\cos \varphi = 0{,}996$.

On aurait ce même facteur de puissance, en constituant un four à induction fondant, en absorbant 500 kW, des cylindres de la dimension du secondaire normal, de résistivité appropriée. Mais ce serait extrêmement incommode et ne se prêterait pas même à la fusion simple ; les réactions ne seraient évidemment pas à considérer.

Si l'on veut faire un four pratique, il faut écarter les circuits à cause de l'influence de la haute température sur le bobinage, il faut accroître l'épaisseur secondaire, il faut accroître le rayon moyen, il faut diminuer la hauteur. Toutes ces causes sans exception tendent à accroître la dispersion et on voit facilement qu'on arrive à la multiplier finalement par 10, 20 et au delà. Enfin, il faut noter qu'on n'est pas dans l'obligation de conserver les caractéristiques principales d'un transformateur de même puissance dérivant du flux choisi.

Le problème à résoudre n'est d'ailleurs pas purement électrique. Il serait vain d'établir des formules compliquées en se basant seulement sur des considérations électriques. C'est le métallurgiste et le fondeur qui doivent donner les dimensions que requièrent les opérations qu'ils envisagent, et l'électricien doit essayer de s'y adapter. Tout au moins il faut qu'ils travaillent de concert.

Digitized by Google

5. — Supposons, pour simplifier, un four assez voisin de forme d'un transformateur pour qu'on puisse lui appliquer les mêmes formules ; notamment les deux circuits ont même hauteur h. Le rayon moyen secondaire de la spire secondaire est R_2 ; sa résistance est :

$$r = \alpha \frac{2\pi R_2}{e_2 h_2}.$$

D'autre part, la puissance magnétisante correspondant au noyau étant faible devant celle de la dispersion, et la perte par effet Joule primaire étant faible aussi, on a $\operatorname{tg}\varphi = \frac{l\omega}{r}$ d'où à peu près

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{8}{\alpha}\left(c + \frac{e_1 + e_2}{3}\right) e_2 f .10^{-8}.$$

On peut faire ces applications :

1° fusion de métal ferreux $\alpha = 200.10^{-6}$; $c = 20$ cm; $c_1 = 2$ cm; $f = 50$ et $f = 10$;

e_2	tg φ	φ	cos φ	tg φ	φ	cos φ
0	0		1	0		1
5	2,2	66°	0,41	0,44	24°	0,915
10	4,8	78°	0,20	0,96	44°	0,72
15	7,7	82°	0,13	1,54	57°	0,545
20	10,9	85°	0,09	2,18	65°	0,42
25	14,5	86°	0,07	2,9	71°	0,33
	$f = 50$			$f = 10$		

A la fréquence 50, le facteur de puissance est toujours mauvais dès que l'épaisseur de la spire secondaire atteint quelques centimètres. A la fréquence 10, on peut aller à l'ordre de 10 cm tout au plus.

2° fusion d'alliage $\alpha = 100.10^{-6}$; $c = 5$; $c_1 = 2$; $c_2 = 3$; $f = 50$; on a $\operatorname{tg}\varphi = 0{,}804$; $\cos\varphi = 0{,}78$, acceptable faute de mieux ; c'est une spire de 3 cm d'épaisseur et ce cas correspond aux fours où le métal fondu est animé de mouvement aller et retour, jusqu'à un creuset plus vaste. On voit aisément que si on chauffait directement ce grand creuset avec $c_2 = 16$ par exemple, au moyen du même primaire et du même noyau, $\operatorname{tg}\varphi = 10$ et $\cos\varphi = 0{,}1$. On voit ainsi tout l'intérêt de ces nouveaux fours à circulation en ce qui concerne le facteur de puissance.

6. — Mais, très souvent, on ne peut assimiler les dispositions d'un four à acier à celles d'un transformateur normal, surtout en ce qui

Digitized by Google

concerne la hauteur commune aux deux circuits et leur proximité. Il faut alors, dans chaque cas, recourir à une étude spéciale de la dispersion en traçant le mieux possible les lignes de force d'un circuit qui ne coupent pas l'autre. On opère par dessin ou par calcul. Comme vérification, on peut calculer l'inductance totale du secondaire supposé isolé dans l'espace ; c'est le cas où aucune ligne de forces du secondaire ne couperait le primaire. Cette inductance doit être toujours évidemment plus grande que la dispersion et le rapport des deux que l'on trouve, peut être un élément de vérification.

7. — On voit que si $\varkappa$ est très grand, comme si l'on chauffe une spire de graphite $\varkappa = 1\,000.10^{-6}$, le facteur de puissance augmente et si on fait une spire assez menue, on peut augmenter beaucoup la fréquence avec un cos φ passable. Ainsi $\varkappa = 1\,000.10^{-6}$; $e = 10$; $e_2 = 10$; $e_2 = 3$; $e_1 = 2$; $f = 500$ amène à $\cos\varphi = 0{,}58$.

On peut évidemment mettre le secondaire à l'intérieur et le primaire à l'extérieur. Si on supprime le noyau de fer, on ajoute un fond et on obtient un creuset passant ainsi aux fours à haute fréquence. Mais la suppression du fer augmente beaucoup la puissance magnétisante : ainsi, si l'on passe de la perméabilité 2 000 à 1, que la section pour l'air soit 4 ou 6 fois plus grande que pour le fer, que la longueur à considérer soit 4 ou 5 fois plus petite (car en dehors des enroulements le flux dans l'air trouve une réluctance très faible à cause de la grande section), on voit qu'on multiplie par l'ordre de 100 la puissance magnétisante. Mais à la fréquence 500, en conservant les sections de la fréquence 50, cette puissance dans le cas du fer est faible, souvent moins de 1 pour 100 de la puissance active.

Nous voyons ainsi la nécessité de l'étude de ces fours à haute fréquence, de 500 p : s et au-dessus, qu'il faut traiter : 1° dans le cas de creusets conducteurs minces contenant des matières isolantes ; 2° de masses pleines conductrices ; 3° de masses peu conductrices comme des morceaux accolés. Nous y reviendrons dans une prochaine communication.

7. — *Rendement.* — En supposant évidemment qu'il n'y a pas induction dans des circuits parasites comme des barres, des boulons, la seule énergie dissipée inutilement est l'effet Joule primaire, en comptant naturellement la résistance effective avec l'effet de peau. On est maître de cette perte dans de grandes limites par un choix judicieux des conducteurs ; on peut généralement l'amener à être assez faible. Aussi, dans les calculs ultérieurs, afin de simplifier, nous ne tiendrons

Digitized by Google

pas compte de cette résistance. Il sera loisible, une fois le résultat obtenu, de corriger la tension à appliquer de la chute dans le primaire.

8. — *Mouvements.* — Rappel des mouvements constatés dans les fours à induction comme le pincement, la dénivellation. Il faut tenir compte de la position relative du primaire et du secondaire. Ils tendent à s'éloigner afin que le flux de dispersion augmente. C'est ainsi que, si le secondaire de métal fondu est à l'intérieur du primaire, on peut avoir certains effets de sens inverse, comme la compression du métal fondu dans un creuset placé dans un solénoïde à haute fréquence qui envoie le métal sur l'axe et par réaction du fond le rejette verticalement selon l'axe. La surface externe prend alors un aspect convexe.

M. LEVASSEUR signale que le facteur de puissance des fours Kjellin décroît, tout au moins à partir d'un certain moment, quand on accroît leur chargement, résultat qui semble difficile à interpréter avec les formules données par M. BUNET.

Il fait remarquer en outre que le cos φ élevé des fours à induction basse fréquence à réservoir de métal, tient d'abord à la raison indiquée par M. BUNET, mais résulte aussi, dans certains cas (four Röchling-Rodenhauser) de la présence d'un secondaire bobiné qui peut être disposé avec la même perfection que celui des transformateurs ordinaires et, par conséquent, pour lequel les fuites magnétiques sont très faibles. Dans les fours R-R ce secondaire bobiné (circuit des plaques chauffantes) absorbe 30 pour cent environ de la puissance.

M. LEVASSEUR montre, d'autre part, que les fuites magnétiques des fours à induction à basse fréquence ont non seulement pour effet d'abaisser leur facteur de puissance, mais aussi d'intensifier les mouvements du bain métallique. Ce brassage excessif implique, à côté d'un avantage métallurgique, un grave inconvénient économique consistant dans le fait que le canal des fours à induction s'use plus rapidement que la sole des fours à arcs. Mais il convient de remarquer que dans ces derniers, l'usure de la voûte implique une dépense considérable.

Programme des journées de discussion d'octobre.

Il est définitivement fixé comme il suit :

1° Communication de M. LANGUEPIN sur la soudure électrique ;

2° Communication de M. MATHIEU sur les régulateurs de fours électriques à arcs et à résistance.

Digitized by Google

4e SECTION. — CANALISATIONS. — DISTRIBUTION GÉNÉRALE. TRACTION.

Présidence de M. PÉRIDIER

SÉANCE DU 28 FÉVRIER 1927. — *Emploi du fer galvanisé dans l'établissement des lignes électriques.* — Après lecture d'une lettre de M. BRYLINSKI et du rapport de M. VALENSI résumant, avec sa documentation personnelle, les communications faites par certains exploitants, la Section décide, sur la proposition de M. DAGUERRE, de remettre la discussion à une séance ultérieure où il sera donné connaissance de la réponse attendue du Syndicat des Producteurs.

N. D. L. R. — *Les Membres de la Société qui posséderaient des renseignements personnels sur cette très importante question, sont instamment priés de les adresser à* M. PÉRIDIER, *Président de la 4e Section, 14, rue de Staël.*

Programme des travaux de la section pour 1927.

M. PÉRIDIER présente le programme des travaux qu'il propose à la 4e Section. Ce programme est résumé ci-après :

A. — *Distribution.* — Etude des huiles de transformateurs (en collaboration avec la Commission de l'Union des Syndicats de l'Electricité et la Société de Chimie Industrielle).

Etude du pouvoir de coupure des interrupteurs dans l'huile (en collaboration avec la Commission de l'Union des Syndicats de l'Electricité. Le Laboratoire Central d'électricité a établi un programme d'essais que la CPDE compte entreprendre incessamment.

La sélection dans les distributions d'énergie électrique (en collaboration avec la Section Appareils de mesure). Derniers perfectionnements sur les relais et résultats d'exploitation.

Progrès récents dans la fabrication des câbles souterrains à très haute tension.

Installations automatiques et commandées à distance (centrales, sous-stations, postes de transformation).

Variation en charge de la tension de distribution haute tension. Commutateurs de prises haute tension dans les transformateurs.

Documentation sur les résultats d'exploitation obtenus dans les ré-

Digitized by Google

seaux américains à très haute tension. Communication de M. le Doyen WHITEHEAD, de l'Université John Hopkins.

Le load dispatching dans les réseaux de transport de force.

B. — *Traction.* — La signalisation et le contrôle automatique des trains sur les réseaux métropolitains et d'intérêt général.

La traction à accumulateurs sur les voies ferrées d'intérêt local, et son application aux manœuvres dans les réseaux d'intérêt général. Discussion de la communication de M. PRACHE.

Progrès récents dans les équipements pétroléo-électriques des véhicules de grosse traction. Résultats de l'expérience américaine.

Equipements électriques des automobiles et caractéristiques particulières des moteurs de démarrage et des dynamos d'éclairage.

Protection contre les court-circuits dans les réseaux de traction électrique. Interrupteurs et limiteurs ultra-rapides de courant.

Etude critique des électrifications récentes.

La récupération en traction électrique.

La Métadyne. Communication de M. PESTARINI.

Les trolleybus. Suite à la communication de M. PEYROUSSET. Résultats techniques et financiers d'exploitation comparés à ceux obtenus avec les autobus thermiques et à accumulateurs.

C. — *Divers.* — Matériel antidéflagrant employé dans les mines.

La soudure à l'arc et les groupes de soudure.

Digitized by Google

TRAVAUX DES GROUPES

GROUPE DU SUD-EST

SOMMAIRE

La radiotéléphonie, M. J. Fourneau. p. 472. — Les condensateurs électriques, M. de Bellescize, p. 472. — Usages de l'électricité en dehors des heures de pointe. La traction par accumulateurs, M. Krieger, p. 473.

Le 11 février 1927, M. J. Fourneau a fait à Lyon une communication sur *la radiotéléphonie*.

Le conférencier après avoir rappelé le principe de la transmission téléphonique, indiqua les difficultés qui se présentent quand on passe de la transmission de la parole à celle du chant et de la musique, par suite de l'étendue de la nappe des fréquences musicales.

Il décrivit les différents procédés employés pour la modulation, les difficultés rencontrées pour réaliser un microphone dépourvu de période propre de vibration. Il passa ensuite à la description des lampes de grande puissance refroidies par circulation d'eau, à celle des postes de radiotéléphonie, de radiodiffusion, de retransmission ; il termina en exposant diverses applications de la radiotéléphonie.

Une série de projections concernant les grands postes radiotéléphoniques de France et de l'étranger, lui a permis d'illustrer cette très intéressante conférence.

*
* *

Le 26 février 1927, à Saint-Etienne, M. de Bellescize fit sur *les condensateurs électriques*, une communication dont voici le sommaire.

A. — *Application du condensateur.*

a) Téléphonie ordinaire; description des condensateurs généralement utilisés par les P. T. T., modèles récents des Sociétés américaines.

Digitized by Google

b) Téléphonie par courant porteur; avantages du condensateur sur l'antenne pour le couplage. Difficultés rencontrées dans la réalisation de condensateurs à H. T. et à B. T. — Application des recherches de Maxwell sur la répartition du potentiel à la détermination des bornes.

c) Télégraphie sans fil. — Différentes utilisations du condensateur pour le circuit d'alimentation, pour le circuit de couplage, et pour le circuit d'antennes.

d) Protection des réseaux contre les surtensions. — Efficacité des condensateurs pour l'absorption des ondes à front raide, résultat des expériences effectuées en Suisse. — Etude des surtensions dans les transformateurs, inconvénients du renforcement des premières spires au détriment des suivantes.

e) Amélioration du facteur de puissance. — Comparaison de prix des moteurs synchrones et des condensateurs statiques, avantage des condensateurs pour les petites puissances. — Surtensions par résonance dues aux condensateurs.

B. — *Fabrication et essais des condensateurs.*

Description des différents procédés de fabrication, avantages et inconvénients des divers diélectriques.

Essais et mesures des pertes dans les diélectriques à différentes températures, emploi du wattmètre compensé.

*
* *

Conférence de M. Krieger le 17 mars 1927. — *Usages de l'électricité en dehors des heures de pointe. — La traction par accumulateurs.*

Après avoir rappelé l'intérêt que présente l'utilisation du courant pendant les heures creuses, non seulement pour les producteurs, mais aussi pour les usagers, auxquels l'énergie mieux utilisée peut ainsi être fournie à meilleur prix et pour l'intérêt national, par la suppression du gaspillage de houille de toute couleur, le conférencier remarque que, sauf pour les appareils culinaires, cette utilisation impose l'emploi d'appareils d'accumulation.

Il ne s'occupe que des accumulateurs électriques pour traction. Après avoir rappelé et comparé les caractéristiques respectives des accumulateurs au plomb et des accumulateurs fer-nickel, il établit

Digitized by Google

les frais journaliers d'exploitation des véhicules à accumulateurs et à essence.

Il arrive ainsi, pour un prix d'achat du véhicule de 60 000 fr.

à 157 fr. 50 à Paris pour le véhicule électrique (moyenne des prix des 2 types d'accumulateurs).

à 145 fr. 30 à Lyon pour le véhicule électrique (moyenne des prix des 2 types d'accumulateurs).

à 201 fr. 50 pour le véhicule à essence.

Il remarque d'ailleurs que la question ne se pose pas pour les véhicules de tourisme, en raison de la vitesse limitée des véhicules à accumulateurs, mais qu'elle est nettement tranchée à l'intérieur des villes, où la vitesse ne peut pratiquement dépasser 25 km. à l'heure, et où les arrêts fréquents entraînent une infériorité marquée pour les voitures à essence, à démarrages plus lents.

Il remarque enfin, que pour réussir, l'exploitation du véhicule électrique doit se faire par groupe.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ (1)

Production et utilisation mécanique de l'électricité.

Utilizzazioni di forze idrauliche. Impianti idroelettrici, par Ing. Prof. Francesco Marzolo, della R. Scuola d'Ingegneria di Padova. — Padova, Casa éditrice dott. A. Milani (gia « Litotipo »), 1926; un vol. broché 25cm × 17cm, de 374 pages, avec 331 figures. (Don de l'auteur).

Canalisations. — Appareillage général.

Pour recharger ses accus sur le secteur. Comment construire soi-même le meilleur des redresseurs de courants alternatifs (le redresseur à collecteur tournant entraîné par moteur synchrone), par C. Rialland. — Paris, Desforges, Girardot et Cie, 1927; un vol. broché 17cm × 11cm,5, de 47 pages avec 20 figures. (Don de l'éditeur).

Paratonnerres, par Edwin W. Liggінston, Ingénieur civil M. A., Expert Electricien. (Bibliothèque des Monographies techniques). — Paris, Desforges, Girardot et Cie, 1927; un vol. broché 22cm × 14cm, de VII-100 pages, avec 83 figures. (Don de l'éditeur).

L'Aluminium dans l'industrie électrique. *Les barres en aluminium dans l'équipement des Centrales, sous-stations, postes de transformation,* etc. — Paris extrait de la *Revue de l'aluminium,* 1926; une brochure 27cm × 21cm, de 16 pages, avec 6 figures. (Don de l'éditeur).

Identical electrical Networks in series, by A. E. Kennelly. Reprinted from « Proceedings of the American Philosophical society », 1925. — Publications from the Harvard Engineering school. 1925-26; une brochure 24cm × 16cm, de 16 pages, avec 23 figures. (Don de l'auteur).

Traction électrique. — Locomotion.

Consommation et récupération d'énergie sur les tramways et sur les chemins de fer électriques à interstations courtes, par A. Della Riccia. — Liége, Impr. H Vaillant-Carmanne, 1927; une brochure 24cm × 16cm, de 16 pages, avec 1 figure. (Extrait du *Bulletin de l'Assoc. des Ingénieurs Electriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore,* 1926). (Don de l'auteur).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Electriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours sauf le Dimanche.

Digitized by Google

Méthodes et instruments de mesure, Compteurs. — Essais de machines.

Mesures électriques, par Jean Granier, Ingénieur, Préparateur à la Faculté des Sciences de Montpellier. — Paris, Librairie Armand Colin, 1927; un vol. broché 17cm × 12cm, de 200 pages, avec 82 figures. (« Collection Armand Colin » section de Physique, n° 82). (Don de l'éditeur).

Mathématiques. — Mécanique.

Leçons de cinématique, par Raoul Bricard, Ingénieur des Manufactures de l'État, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers et à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures. — *Tome II : Cinématique appliquée.* — Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1927; un vol. broché 25cm × 16cm, de VI-352 pages, avec 300 figures. (Don de l'éditeur)

Eléments de thermodynamique, par A. Turpain, professeur à la Faculté des sciences de Poitiers. *Avec formulaire* réunissant, groupées, toutes les formules établies, 32 figures et 11 tableaux de valeurs numériques. — Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1927; un vol. broché 25cm × 16cm, de 168 pages, avec 32 figures. (Don de l'éditeur).

Unitiation aux progrès récents de la Mécanique des fluides. Leur relation avec l'Electrodynamique, par M. G. Darrieus, Ingénieur à la Compagnie d'Electro-Mécanique. — Paris, Extrait des « Mémoires de la société des Ingénieurs civils de France », 1926; une brochure 24cm × 16cm,5, de 67 pages, avec 39 figures et 1 planche hors texte. (Don de l'auteur).

Généralités. — Etudes théoriques. — Recherches physiques.

The National Physical Laboratory. *Collected Researches : Vol.* XIX, *1926.* — London, published by his Majesty's Stationery Office, 1926; un vol. 31cm × 24cm, de V-443 pages, avec nombreuses figures et 1 planche hors texte. (Don du National Physical Laboratory).

Congrès. — Expositions. — Sociétés. — Syndicats. — Annuaires — Etudes économiques. — Inventaires. — Statistiques.

Les Bases rationnelles de la Documentaire industrielle. Un répertoire de la production française. Georges Dubujadoux, Docteur en droit. — Paris, Librairie générale de droit et de jurisprudence, 1926 : un vol. broché 25cm × 16cm,5, de IX 176 pages. (Don de l'éditeur).

L'Organisation scientifique. 2e Congrès, Paris. 1924. — Edité par la conférence de l'Organisation française, 44, rue de Rennes, Paris ; un vol. broché 24cm × 16cm, de 286 pages. (Don de l'éditeur).

Digitized by Google

La Conférence mondiale de l'Energie. Compte-rendu de la session spéciale de Bâle (1926), par Constantin D. Busila. — Bucarest, 1926, Institut national roumain pour l'étude de l'aménagement et l'utilisation des sources d'énergie ; une brochure $23^{cm} \times 15^{cm}$, de 47 pages. (Extrait des « Annales de Mines de Roumanie », 1926). (Don de l'Institut national roumain).

Jahrbuch der Electrotechnik, herausgegeben von Dr. Karl Srecker. Dreizehnter Jahrgany, das Jahr, 1924. — München und Berlin, R Oldenbourg, 1926 ; un vol. relié $24^{cm} \times 19^{cm}$ de x-269 pages. (Acquis par la Bibliothèque).

Statistik der Elektrizitatswerke und der Elektrischen Bahnen Œsterreichs, herausgegeben von Elektrotechnischen Verein in Wien. Wien Verlag des Elektrotechnischen Vereines in Wien, 1926 ; un vol. cartonné $30^{cm} \times 21^{cm}$, de 214 pages. (Don de l'Elektrotechnischer Verein in Wien).

Le Livre d'or de l'Industrie du caoutchouc, édité par la Revue générale du Caoutchouc à l'occasion de la 7e Exposition internationale du caoutchouc, Paris, janvier 1927. — Paris, Revue générale du caoutchouc, 1927 ; un vol $28^{cm} \times 22^{cm}$, de 316 pages avec nombreuses illustrations hors texte. (Don de l'éditeur).

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

Production et utilisation mécanique de l'électricité

Usines hydroélectriques, par Charles L. Duval, maître de conférences à l'E.S.E., Directeur des Services électriques à la Société Générale d'Entreprises, suivi de *Réglage des Groupes électrogènes,* par J. L. Routin, maître de conférences à l'E S E., Ingénieur conseil des Établissements Schneider et Cie. Un vol. broché $23^{cm},5 \times 15^{cm},5$ de 512 pages avec 317 figures. (Paru dans l'Encyclopédie d'Electricité industrielle) Paris, Librairie J B. Baillerie et fils, 19 rue Hautefeuille.

Les auteurs ont réuni un ensemble descriptif complet des dispositions diverses des usines hydroélectriques, en exposant les raisons qui ont motivé, dans chacun des cas, le choix de ces dispositions, les dimensions des appareils et les modalités de leurs emplois.

Les divers chapitres sont consacrés à l'étude du débit des cours d'eau, aux ouvrages hydrauliques, aux turbines, à la disposition des usines, à l'appareillage, au réglage des groupes électrogènes. Le côté économique si important dans l'utilisation de la « houille blanche » n'a pas été négligé.

Les auteurs se sont étendus longuement sur les prix de construction et d'exploitation des usines; ils donnent de nombreux renseignements numériques, relevés tant en France qu'à l'étranger, et font ressortir, avec juste raison, que les charges de production sont peu importantes dans le prix de revient final de l'énergie, puisque le prix de revient à l'usine peut se trouver au moins décuplé par le transport chez l'abonné.

Bien que les chiffres donnés dans l'ouvrage soient déjà un peu anciens, ils permettent de tirer des conclusions pour l'époque actuelle, si l'on prend soin de ne pas méconnaître l'importance de certains facteurs économiques, tels que la dépréciation du franc, les progrès réalisés dans le domaine des machines thermiques, l'accroissement continu de la production de nos mines, les difficultés d'aménagement des ressources hydrauliques non encore utilisées. Il convient, d'autre part, de ne pas attribuer, à une réduction de nos importations de charbon, des effets économiques prépondérants, puisque les événements récents ont montré que le redressement de notre monnaie peut être obtenu en dehors de toute variation notable dans la balance commerciale.

Les Groupes électrogènes, par R. Bardin, Ingénieur électricien E.S.M.E., diplômé de l'Ecole supérieure d'Aéronautique. — Paris, Librairie centrale des Sciences, Desforges, Girardot et Cie 1926. Un vol. broché $24^{cm} \times 16^{cm}$ de 130 pages avec 70 figures. (Don de l'Editeur).

Cet ouvrage pourra être consulté utilement par les nombreux « usagers » de l'électricité qui se trouvent placés en dehors du champ d'action des secteurs de distribution, ou qui trouvent avantage à produire eux-mêmes l'énergie qui leur est nécessaire.

Digitized by Google

L'auteur étudie en détail le fonctionnement et l'entretien du moteur à explosions, de la génératrice et de la batterie d'accumulateurs, et donne des renseignements pratiques sur les installations électriques

Le développement rapide des petits groupes électrogènes individuels aux Etats-Unis (quelque cent mille kilowatts installés chaque année) laisse prévoir que dans un pays rural comme le nôtre. Ces installations particulières offriront à nos constructeurs un vaste débouché, pour peu que la revalorisation du franc vienne à abaisser le coût de l'essence, ou que le problème des carburants nationaux reçoive une solution pratique.

Traction électrique

Traction électrique. — Manuel sur la théorie et l'application de la traction électrique aux Chemins de fer, par l'Ingénieur E.E. Seefehlner, de Vienne, avec un chapitre sur les chemins de fer à crémaillère et funiculaires par l'Ingénieur H.A. Peter de Zurich, traduit sur la 2e édition allemande, par R. Weiller, ancien élève de l'Ecole Polytechnique de Zurich, Paris, et Liége. — Un vol in-octavo 694 pages, Librairie polytechnique Ch. Béranger, 1926.

Cet ouvrage est divisé en 6 chapitres.

Le 1er chapitre est consacré aux généralités sur la traction électrique, ses avantages ou inconvénients. Il passe en revue les différents modes de traction électrique et les exploitations qui en sont pourvues.

Le 2e chapitre, sous le titre « Production du courant » traite à la fois de la production de l'énergie électrique et de sa transformation aux fins d'utilisation sur les locomotives ou automotrices, des redresseurs à vapeur de mercure, des stations de conversion automatiques, des convertisseurs de fréquence, des appareils de protection, etc...

Le 3e chapitre est consacré aux canalisations. L'auteur ne traite pas la question des lignes de transmission et d'alimentation, estimant qu'elles n'ont qu'un rapport indirect avec l'installation de traction proprement dite. Mais, sous le titre « Lignes de travail » (lignes de contact), il étudie les calculs d'établissement et passe en revue différentes dispositions adoptées pour les lignes de contact (lignes simples, lignes à suspension caténaire, rails de prise de courant, etc...)

Le 4e chapitre traite longuement du matériel roulant. Après l'exposé d'un certain nombre de considérations classiques sur les résistances de traction, l'auteur décrit successivement les moteurs, les différents dispositifs de freins (freins électriques, freins solénoïdes, freins magnétiques sur rails, freins à récupération), les transmissions par engrenages et par bielles, les régulateurs pour courant continu et pour courant alternatif, les organes de captation de courant, les règles à suivre dans la construction des voitures motrices de tramways, des locomotives, des voitures à moteur thermique et transmission électrique, enfin des voitures à accumulateurs.

Le 5e chapitre est le complément du chapitre IV et précise les conditions particulières concernant les chemins de fer à crémaillère et les chemins de fer funiculaires.

Le 6e chapitre expose rapidement quelques considérations économiques et financières relativement aux conditions de substitution de la traction électrique aux autres modes de traction, aux conditions d'exploitation à réaliser, étant donné le caractère habituel du trafic, à la durée normale de certains organes d'usure en traction électrique.

Notons, enfin, une intéressante annexe sur la nomographie et les abaques facilitant la lecture du livre dans les chapitres où sont traitées les questions théoriques.

Le lecteur puisera dans cet ouvrage bien ordonné et très documenté les enseignements les plus utiles sur la traction électrique, bien que l'auteur ait omis de mentionner un certain nombre de réalisations intéressantes, fruit d'études faites dans d'autres pays que ceux de l'Europe Centrale.

Digitized by Google

CONGRÈS — EXPOSITIONS — SYNDICATS — ANNUAIRES
ÉTUDES ÉCONOMIQUES — INVENTIONS — STATISTIQUES

Les Bases rationnelles de la Documentation Industrielle. par M. Georges DUBUJADOUX, Docteur en Droit — Paris, Librairie générale de droit et de jurisprudence, 1926. Un vol. broché $25^{cm} \times 16^{cm},5$, de IX-176 pages. (Don de l'éditeur).

Sous ce titre, M. Georges Dubujadoux traite d'une question qui lui est familière puisque, sous le patronage du Ministère du Commerce et des grands groupements de la Production française, il a fait plusieurs voyages d'études en Europe, et une série de conférences sur l'organisation industrielle.

Dans la première partie de l'ouvrage, l'auteur étudie notre organisation d'expansion commerciale et passe en revue les services publics ou privés chargés de la documentation. Il montre que si nous avons des renseignements sur les pays étrangers, et des renseignements généraux sur la France, il nous manque une documentation précise sur notre pays c'est-à-dire la possibilité de répondre d'une façon *précise* à cette question *précise* : « Produit-on en France telle spécialité industrielle? Quels sont les noms des producteurs, leur adresse, leur puissance de production, etc . . ? Cette lacune présente pour notre développement économique de multiples inconvénients. Il nous faut donc un *Répertoire rationnel de notre production* comme en ont déjà, les autres grands pays.

Dans la seconde partie, l'auteur analyse ces répertoires étrangers, qui restent imparfaits parce que les Anglais, Allemands, Américains ou Suédois n'ont pas su imaginer une classification industrielle.

Dans quelques chapitres d'un réel intérêt scientifique, l'auteur indique les défauts des classifications usitées habituellement et il dégage les trois idées sur lesquelles on peut établir une classification industrielle : l'idée d'origine, l'idée de transformation, l'idée de destination du produit et propose le plan idéal du *Répertoire de la Production Française*.

La troisième partie décrit les avantages d'un pareil ouvrage; notamment pour la diffusion des inventions nouvelles, l'aide efficace apportée à notre Expansion Commerciale et la préparation de notre Défense Nationale.

L'auteur montre ainsi que l'industrie française ne doit pas s'attacher exclusivement aux progrès techniques et que des perfectionnements d'organisation commerciale peuvent transformer sa situation dans le monde.

Ce livre intéressera non seulement les économistes et les industriels, mais encore tous ceux qui s'intéressent à l'Expansion Commerciale française.

Annuaire pour l'an 1927, publié par le Bureau des Longitudes. — Un volume, 703 pages, $14^{cm} \times 10^{cm}$. Gauthier-Villars et Cie, Paris 1927.

Conformément aux dispositions prises au cours des dernières années, l'annuaire de 1927, année impaire, contient, outre les chapitres « constants » calendrier, terre, astronomie, mesures légales, monnaies, les données géographiques et démographiques.

Toutes les tables des matières, à l'exception de celles qui sont particulières aux notices sont groupées à la fin du volume, elles se réfèrent, soit au volume lui-même, soit à ceux des années immédiatement précédentes.

Le deuxième chapitre contient un article sur le magnétisme terrestre.

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

I. — Réunion mensuelle du 7 avril 1897

Présidence de M. Sciama

L'Assemblée générale élit M. Picou comme Président pour l'exercice 1898-1899.

M. d'Arsonval présente une communication sur l'action physiologique et thérapeutique des courants à haute fréquence. Ces courants, produits par la décharge d'un circuit oscillant alimenté sur le secteur, traversent un solénoïde à l'intérieur ou aux bornes duquel est placé le patient. Le conférencier expose les résultats physiologiques et thérapeutiques très intéressants qu'il a obtenus, et qui montrent que l'action des courants à haute fréquence s'exerce sur le corps entier et non pas seulement sur les cellules épidermiques.

M. d'Arsonval, Président pour l'exercice 1897-1898 prend, en fin de séance, possession du fauteuil.

II. — Extrait du Bulletin

Le *Bulletin* contient une lettre du Président de la Société au Ministre de l'Instruction publique et aux Ministres du Commerce, de l'Industrie et des Postes et Télégraphes par laquelle il proteste, au nom de la Science et de l'Industrie électriques, contre la décimalisation de l'heure proposée par la Commission officielle de décimalisation du temps et de la circonférence.

L'Imprimeur-Editeur : Etienne Chiron, Paris.

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion du 29 avril 1927, commune avec la Société des Ingénieurs Civils de France p. 484

Réunion ordinaire mensuelle du mercredi 4 mai 1927, p 486.

Admissions de membres titulaires, p. 487.

Dons à la Société, p. 487.

ERRATA, p. 488.

RAPPORTS A L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE :

Rapport du Comité d'Administration p 489.

Rapport de la Commission des Comptes, p 492.

Rapport annuel sur le Laboratoire Central et l'École Supérieure d'Électricité p. 505.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Comment produire gratuitement un kWh. de 3.000c alories — ? —. (M. HERRY), p. 520. — Note de M. MERCIER E., p. 545. — L'Usine d'Éguzon et l'électrification du réseau d'Orléans (M. PARODI), p. 547. — Note de M. DE BELLESCIZE, au sujet de la communication de M. GIRAULT, sur une image mécanique d'hystérésis, p 568.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p 571. — Texte, p. 571.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 595.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 596.

IL Y A TRENTE ANS, p. 598.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION COMMUNE

de la Société des Ingénieurs Civils de France
et de la Société française des Electriciens
tenue le 29 avril 1927
en l'hôtel de la Société des Ingénieurs Civils de France

Présidence de M. P. JANET.

La séance est ouverte à 20 h. 30.

M. le Président souhaite la bienvenue à M. FABRY, Président de la Société française des électriciens et se félicite de voir se resserrer chaque jour davantage les liens qui unissent les deux Sociétés.

M. FABRY le remercie, en son nom personnel et au nom des membres de la Société française des électriciens venus en très grand nombre pour écouter les deux conférenciers.

M. BUCHERER décrit *les travaux de percement de lacs exécutés en Catalogne*. Ces travaux ont eu pour but d'augmenter la capacité d'accumulation des lacs, en abaissant leur niveau de déversement par la construction de galeries souterraines. On évite ainsi la mise en marche des usines thermiques de secours de 100 000 ch pendant les années sèches. Le retour de celles-ci a lieu périodiquement, suivant un rythme d'environ cinq années. La réserve obtenue a atteint 20 millions de mètres cubes d'eau, devant produire près de 60 millions de kWh en réalisant, sur l'énergie thermique, une économie d'environ 3 millions de pesetas.

Les galeries ont été percées dans le granit, dont les venues d'eau étaient obturées par des injections de ciment. Elles ont été fermées par des barrages en béton, munis de vannes manœuvrées depuis la surface.

La destruction des bouchons, conservés pour isoler les galeries des lacs, fut opérée à la dynamite, des dispositifs spéciaux permirent de réaliser la simultanéité de l'explosion des cartouches, tandis que la

Digitized by Google

mise sous eau préalable des galeries s'opposa à l'entraînement des débris.

Ces travaux, exécutés en partie l'hiver à des altitudes atteignant 1 100 m, et les transports étant souvent faits à dos d'hommes, font le plus grand honneur à l'énergie et au dévouement du personnel tout entier.

M. Maroger expose l'organisation et le fonctionnement de l'Union des producteurs d'électricité des Pyrénées-Occidentales, fondée en 1925 pour *l'utilisation des grands réseaux de transport* de la région. Cette création a été provoquée par la crise de 1921, consécutive à la guerre et qui avait rendu très difficile le placement des 830 millions de kWh annuel produits dans les usines des diverses compagnies intéressées. L'U.P.E.P.O. constitue, entre ces compagnies, l'organe de liaison indispensable pour connaître chez chacune d'elle l'énergie disponible, répartir entre leurs usines l'énergie fournie, placer celle-ci au mieux dans la clientèle, passer les contrats de péage nécessaires pour la faire circuler, répartir enfin les recettes entre les adhérents. Parmi les détails adoptés pour l'organisation technique, le conférencier signale la régularisation de la tension par condensateurs synchrones à régulateur automatique.

Au cours de 1926, premier des exercices normaux, le coefficient d'utilisation a été de 86 pour cent pour l'ensemble de la production et de 95 pour cent pour le mois de basses et moyennes eaux. Une seizième usine doit être rattachée aux réseaux en 1928.

En outre, une ligne à 150 000 V va relier la région à celle du Massif Central, qui donne en hiver son maximum d'énergie. Le Massif Central, à son tour, pourra faire la liaison entre les régions de Paris, des Alpes, du Sud-Ouest et du Sud-Est. Il deviendra ainsi possible d'assurer, par glissements, et sans augmentation notable de frais de transport, la transmission de l'énergie électrique d'un bout à l'autre de la France.

La séance est levée à 22 h. 45.

Digitized by Google

REUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 4 mai 1927

Présidence de M. Ch. Fabry.

La séance est ouverte à 20 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président donne la parole à M. le Dr Ekström, qui expose les progrès considérables réalisés dans l'électrification rurale en Suède. Le conférencier projette des films très instructifs montrant l'appareillage utilisé, et les diverses applications faites de l'électricité : machines à traire, écrémeuses, barattes, batteuses, levage et emmagasinement du fourrage, transport par aspiration de la paille, de la balle et des grains de blé, chauffage de la terre des couches sous chassis pour la culture des primeurs, cuiseurs électriques perfectionnés etc. Le conférencier donne des renseignements du plus haut intérêt, sur l'application des tarifs à l'électricité agricole et sur leurs résultats commerciaux. Il termine en exprimant le vœu que de nombreux agriculteurs français viennent en son pays se rendre compte par eux-mêmes de l'intérêt que présentent ces résultats.

Le Président remercie vivement M. le Dr Ekström, d'avoir bien voulu venir de Suède pour faire défiler devant nous des documents si vivants ; il souhaite que les ingénieurs et agriculteurs français, répondant à la très aimable invitation de M. le Dr Ekström, aillent en Suède compléter leur instruction professionnelle ; la question de la main-d'œuvre se pose déjà en effet d'une manière aigüe, pour l'industrie agricole, comme pour l'industrie ménagère. Si les ingénieurs sont convaincus d'avance des services que l'électricité peut rendre en ces matières, les agriculteurs ont peut-être encore sous ce rapport, quelque chose à apprendre.

Sur une question posée par M. Foulcher, M. le Dr Ekström complète les renseignements qu'il a donnés sur le jeu des tarifs.

M. Borlase Matthews, l'ingénieur anglais bien connu, qui a complètement électrifié sa ferme modèle située entre Londres et Brighton,

Digitized by Google

présente une série de films sur l'*électrification en Grande Bretagne*. Il montre notamment la vie des bêtes dans les ruches et dans les poulaillers, poussés à la lumière électrique.

Le Président remercie et félicite très vivement le conférencier de cette présentation, qui complète si heureusement celle de M. le Dr Ekström.

M. Bitouzet présente un film sur *les travaux de labourage électrique dans la région parisienne ;* il constate que, si le recrutement d'une main-d'œuvre adéquate et la réalisation d'un matériel approprié ont rencontré des difficultés sérieuses, la clientèle a été conquise de suite par l'incontestable supériorité du travail fourni.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Astier (Louis-Léon), ingénieur en chef du Service Technique Central de la C. P. D. E., 5, rue de la Mission-Marchand, à Paris (16e). — Présenté par MM. Eschwège et Imbs.

Brocard (René-Jules), rédacteur en chef du journal « Fil et sans Fil », Conseil Scientifique de « Je sais Tout », 3, rue de la Poste, à Asnières (Seine). — Présenté par MM. Fourcault et Grosselin.

Cazaud (Roger), ingénieur du Conservatoire des Arts et Métiers, Aciéries de Gennevilliers, 244, rue Croix-Nivert, à Paris (15e). — Présenté par MM. Guibert et Jouaust.

Chevrier (Georges-Louis), Sous-Directeur des Usines de la C. P. D. E., 58, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Ouen (Seine). — Présenté par MM. Eschwège et Imbs.

Delacour (Robert-Joseph-Antoine-Marie), ingénieur en chef du Service de l'Exploitation de la C. P. D. E., 23, rue de Vienne, à Paris (8e). — Présenté par MM. Eschwège et Imbs.

Hamel (Charles-Jules-Louis), ingénieur en chef des P. T. T. Service de la Télégraphie sans Fil, 4, rue Roudier, à Meudon (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Toulon et Bochet.

Lahoussay (Louis), ingénieur-chef des Services Techniques du Comité des Houillères de France, 35, rue Saint-Dominique, à Paris (7e). — Présenté par MM. Mathivet et Grosselin.

Ledoux (Charles-Pierre), ingénieur-conseil, rue Achille-Jubinal, à Tarbes (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Péridier et Grosselin.

Maurer (Paul-Jean-Baptiste), ingénieur en chef du Service des Compteurs à la C. P. D. E., 72, rue Condorcet, à Paris (9e). — Présenté par MM. Eschwège et Imbs.

Pêcheur (Henri), directeur du Service des Usines à la C. P. D. E., 58, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Ouen (Seine). — Présenté par MM. Eschwège et Imbs.

Pierron (René), ingénieur de l'Exploitation à l'Est-Lumière, 38, rue Decorse, à Saint-Maurice (Seine). — Présenté par MM. Gros et David.

Philippov (Jean), ingénieur-électricien. Assistant de professeur d'électricité à l'Ecole Supérieure Polytechnique et de Physique à l'Ecole Supérieure de Médecine de Petrograd. Member (Associate) de American Institute of Electrical Engineers. Représentant pour la Russie et Pays Balte de « R. Thomas and Sons, Co » U. S. A., 15, rue du Gros-Caillou, à Paris (7e). — Présenté par MM. Janet et Grosselin.

Vadot (Léon), ingénieur en chef, ateliers de Constructions, Matériel électrique Japy Frères et Cie à Beaucourt, rue de la Maison-Blanche, à Beaucourt (Territoire de Belfort). — Présenté par MM. Van Muyden et Roth.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société française des Electriciens.

M. le Président annonce que la Société a reçu de MM. Huebert et Regnault un nouveau don de 15 000 fr. Il leur exprime sa plus vive reconnaissance.

Digitized by Google

Il remercie les donateurs des ouvrages offerts en avril et dont la liste est donnée à la page 595 du présent Bulletin.

Il rappelle que, le vendredi 29 avril 1927, a eu lieu, une séance organisée en commun par la Société des Ingénieurs Civils de France et par notre Société.

Deux communications du plus haut intérêt ont été présentées, l'une par M. Bucherer, sur les travaux de percement des lacs exécutés en Catalogne, l'autre par M. Maroger, sur l'utilisation des grands réseaux de transport et sur l'organisation de l'Union des producteurs d'électricité des Pyrénées Occidentales.

Le Président et ceux de nos membres qui ont pu assister avec lui à cette séance, se félicitent de ce qu'ils ont pu y apprendre et de l'accueil qu'ils y ont reçu ; ils adressent, à ses organisateurs, leurs plus vifs remerciements.

M. le Président, en remerciant le conférencier, observe que si les travaux de labour, presque aussi vieux que le monde, se sont poursuivis pendant tant de siècles sans changement notable, c'est un signe certain des graves difficultés qu'ils opposaient à tout perfectionnement sérieux ; il ajoute que, comme le conférencier l'a montré, le problème de l'industrialisation du labourage vient de trouver sa solution dans l'emploi de l'énergie électrique. Il rappelle que ceux d'entre nous qui ont pris part à la visite faite en mars dernier aux champs de labourage, ont pu constater la perfection du travail exécuté. Il se permet de féliciter chaudement tous les collaborateurs de l'œuvre entreprise avec tant de succès.

La séance est levée à 23 h. 30.

ERRATA

aux rapports insérés dans les Bulletins de Mars et Avril 1927

Bulletin n° 67 (Mars 1927).

Page 258, fin du 2e paragraphe :

lire : L'interrupteur en question est étudié pour couper 30.000 A

au lieu de : L'interrupteur en question est étudié pour couper 3.000 A.

Bulletin n° 68 (Avril 1927).

Le cliché reproduit à la page 390 du bulletin (communication de M. Favry), nous a été gracieusement prêté par « l'Astronomie ».

Digitized by Google

RAPPORTS PRÉSENTÉS A L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

du Samedi 2 Avril 1927

Rapport du Comité d'Administration

Messieurs,

Décisions. — Au cours de l'exercice 1926, les décisions prises par votre Bureau et votre Comité ont été les suivantes :

Dans sa séance du 17 mars, le Bureau a décidé d'envoyer aux Membres de province, sur leur demande et à leurs frais, après accord du Directeur de l'Ecole, certains volumes de la Bibliothèque, étant entendu que le renvoi devrait en être fait dans un délai maximum de 15 jours.

En avril 1926, le Bureau a décidé de présenter, d'accord avec la Société des Ingénieurs Civils, votre Président d'Honneur, M. André Blondel, Membre de l'Institut, comme candidat français à la Médaille Kelvin.

Dans sa réunion de février 1927, le Comité a décidé d'attribuer, pour 1927, la Médaille Mascart à Sir J.-J. Thomson, candidat présenté par l'Institution of Electrical Engineers. Sir J.-J. Thomson a bien voulu nous promettre de venir à Paris au début de juin pour recevoir la Médaille des mains de notre Président, il nous fera en même temps une conférence sur un sujet scientifique à l'Amphithéâtre de physique de la Sorbonne. Dans cette même séance, le Bureau a décidé de fonder à l'Ecole Supérieure d'Electricité une bourse de frais d'études qui sera attribuée tous les deux ans et qui portera le nom de Bourse Frantz Hueber, en mémoire d'un jeune Ingénieur de la promotion 1924-25, qui a péri au cours de l'été 1926.

Semaine de discussions. — La semaine de discussions qui a lieu fin octobre 1926, a eu le même succès que l'année précédente ; les discussions ont été très intéressantes, ce qui a décidé le Bureau à les poursuivre en 1927.

Digitized by Google

Travaux des Sections. — Grâce à l'activité de leurs Présidents, les Sections continuent un travail très fécond dont il est rendu compte dans chaque Bulletin mensuel.

Groupes. — Il en est de même de vos Groupes de province qui ont pris une grande activité ; les conférences y sont très nombreuses. Le Groupe du Sud-Est vient d'inaugurer des réunions d'études en petit Comité où le travail est aussi utile que celui des Sections du Siège Social.

MM. Camichel et Peridier ont fondé, au cours de l'année, un nouveau Groupe à Toulouse.

Représentation de la Société à l'Etranger. — Notre Président, M. Charles Fabry, a représenté la Société au dîner annuel de février de l'Institution of Electrical Engineers et il a été particulièrement bien accueilli. S. A. R. le Prince de Galles l'a prié de transmettre à la Société ses sentiments de vive sympathie.

Visites. — Les 6 et 7 décembre, M. Valensi, Ingénieur en Chef des Postes et Télégraphes, Secrétaire général du Comité consultatif international des communications téléphoniques à grande distance, a bien voulu inviter les membres de notre Société à visiter *l'Exposition d'Instruments de Mesures téléphoniques et d'organes d'équipement de lignes téléphoniques à grande distance.*

Le 5 février, Miss Browne, Commissaire général de *l'Exposition Internationale du Caoutchouc, autres produits tropicaux et industries qui s'y rattachent*, nous a de même invités à visiter cette Exposition.

Au cours du mois de février, la *Compagnie des Chemins de fer Paris-Orléans* a autorisé les Membres de la 4e Section du Comité (canalisations, distribution générale, traction) à circuler sur les locomotives électriques entre Paris et Orléans et à visiter les postes desservant cette ligne électrifiée.

Nous en remercions tout spécialement M. Lacoin, Ingénieur en Chef du Matériel et de la traction de la Compagnie, M. Parodi, Ingénieur Conseil et M. Barillot, Ingénieur en Chef des Services électriques du Chemin de fer d'Orléans qui se sont occupés personnellement d'organiser et d'accompagner cette visite.

Au cours du mois de mars, la *Société française des régulateurs universels Arca* a bien voulu répéter à plusieurs reprises, avec une par-

Digitized by Google

faite bonne grâce, ses très intéressantes expériences devant un grand nombre de Membres de notre Société qui y ont pris le plus vif intérêt. Nos remerciements vont, en particulier, à M. SEMET, Directeur, et à M. MATHIEU, Ingénieur de la Société.

Enfin, grâce à la très aimable intervention de M. ÉSCHWÈGE, M. GOUVERNEUR, Administrateur Délégué de la Société Electrique des Travaux agricoles, a bien voulu, le samedi 12 mars, prendre en auto-cars 80 Membres de notre Société pour les conduire aux *Champs de Labourage électrique de la Région du Vexin*. Ils ont visité par la même occasion *l'Usine de fabrication des poteaux en ciment par centrifugeage de la Société française des poteaux électriques et au Poste à* 60 000 V *du Nord Lumière* à Puiseux. L'affluence inusitée des participants a montré l'intérêt très vif que cette visite avait éveillé.

Réception des Italiens. — L'invitation que nous avons adressée à nos Collègues italiens, a obtenu parmi eux le plus vif succès ; ils ont passé la frontière au nombre de 200. Le temps les a malheureusement peu favorisés, ils sont néanmoins rentrés chez eux enchantés de ce qu'ils avaient vu et des réceptions qui leur ont été offertes, comme en témoignent les nombreuses lettres que nous avons reçues d'eux.

Notre Vice-Président, M. GRATZMULLER, qui les avait accompagnés tout le temps de leur séjour a fait, de ce voyage, un compte rendu spécial qui a été adressé à tous nos Membres et qui rend un juste hommage de reconnaissance aux Personnalités, aux Compagnies et aux Groupements divers pour l'effort considérable accompli par eux en vue de nous aider à accueillir les Italiens.

Membres décédés. — Nous rappelons ici les noms trop nombreux de ceux que la mort nous a enlevés depuis le mois d'avril 1926 :

MM. D'ANDIGNE, BERTHELOT Daniel, DAUPHIN, DEBEAUVE, DURANGEL, DUVERNE, ESPIR Lucien, HUEBER F., LEROY, LOURME, MARIAGE Jules, MATHIEU E., MIFLIER, MILLOT, POULOT, SARTIAUX, SCIAMA, THURNAUER et VEDOVELLI.

Nous renouvelons aux familles des disparus nos bien sincères condoléances.

Distinctions. — Depuis avril 1926, ont été attribuées aux Membres de la Société des distinctions ci-après :

Dans l'Ordre de la Légion d'honneur, MM. AZARIA, André BLONDEL,

Digitized by Google

CAHEN Henri, CHAUMAT, POMEY et WALCKENAER ont été promu à la dignité de Commandeur.

MM. BACHELLERY, BARBILLION, BITTERLI, BRENOT, FLUSIN, F. GRAMMONT, KELLER, LÉPINE et PARODI ont été promus Officiers.

MM. D'AUBENTON-CARAFA, AUBERT, BARILLOT, BARSU, BUFFET, CHAMON, DELON, HULIN, KAEUFFER, KOCH, LEGENDRE, Van MUYDEN, PARSONS F., PISON, E. ROTH, SCHLUMBERGER, THIERRY et UHRY ont été nommés Chevaliers.

Les prix suivants ont été décernés par l'Académie des Sciences :

Le Prix La Caze à M. Charles FABRY, notre Président.

Le Prix Hébert à M. BUNET, notre ancien Vice-Président.

Le Prix Houllevigue à M. J. REY, notre Ancien Président.

3 000 *francs ont été attribués sur la Fondation Loutreuil* à M. CHAUMAT, notre Vice-Président.

Recrutement. — Nous ferons, en terminant un nouvel appel à chacun de vous pour attirer les nombreux électriciens qui ne font pas encore partie de notre Société. Nous devons répéter, sans nous lasser, que les Sociétés Etrangères, notamment les Sociétés Américaines et Italiennes ont eu pendant longtemps un nombre de Membres inférieur au nôtre; la première en a maintenant 23 000 et la seconde 8 000. Nous comptons bien dépasser cette année le chiffre de 2 000, malgré les démissions entraînées par l'augmentation de la cotisation, et une fois ce chiffre fatidique atteint, notre Société prendra enfin, nous en sommes convaincus, un essor digne de la place que les électriciens français occupent dans le monde.

Rapport de la Commission des Comptes.

Messieurs,

Dans votre réunion du 9 janvier 1926, vous avez bien voulu nous confier la mission d'examiner les comptes de notre Société.

Nous venons vous exposer les résultats des vérifications auxquelles, en conséquence de ce mandat, nous nous sommes livrés et des constatations que nous avons faites.

Voici le résumé du compte d'exploitation de la Société Française des Electriciens pour l'exercice 1926 :

Digitized by Google

	RECETTES	DÉPENSES	EXCÉDENT DE RECETTES	EXCÉDENT DE DÉPENSES
Laboratoire.	495 499,78	467 297,23	28 202.55	»
Ecole.	1 094 075,92	885 112,41	208 963,51	»
Société savante	136 085,25	136 236,98	448,27	»
Services généraux.	103 510,45	97 407,88	6 102,57	»
Totaux. . . .	1 829 771,40	1 586 054,50	243 716,90	»

Voici, d'autre part, le résumé du bilan.

ACTIF			PASSIF	
Bibliothèque et mobilier .	43 135,40			
Constructions.			Avances.	493 634,20
Ecole et Laboratoire, rue de Staël. 621 476.33			Créanciers.	4 322 187,73
Ecole à Malakoff. 5 082 498,30 (terrain compris 1 279 688,50).	5 703 974,63		Amortissement général. .	147 715,60
Matériel.			Amortissement du portefeuille.	181 689,79
Ecole et Laboratoire, rue de Staël. 1 164 557,34				
Ecole à Malakoff. 963 914,25	2 128 471,59		Réserves.	3 700 899,43
Débiteurs divers.	2 106 349,79			
Portefeuille.	1 117 391,52		Capital	3 695 340.61
Caisse et Banques	1 442 144 43			
	12 541 467 36			12 541 467,36

Compte d'exploitation. — Les comptes d'exploitation de chacun des services s'établissent cette année en excédent de recettes, malgré l'accroissement des dépenses résultant des deux relèvements successifs des traitements du personnel votés en fin 1925 et en octobre 1926.

En particulier, la situation du laboratoire s'est considérablement relevée, grâce à l'accroissement d'activité qui a marqué ses opérations. Le déficit, restant très inférieur à celui des années précédentes, a été couvert et au delà par les souscriptions dont nous vous donnons ci-après l'énumération.

Digitized by Google

Groupe des secteurs de la région parisienne	5 000
Forges et ateliers de Constructions Electriques de Jeumont	5 000
Compagnie française des lampes à incandescence	3 000
Société d'Electricité de Paris	2 500
Compagnie française Thomson-Houston	2 000
Etablissements Hillairet	1 500
Le Matériel téléphonique	1 000
Société des Accumulateurs électriques	1 000
Electro-Câble	1 000
Omnium Lyonnais	1 000
Société des téléphones	1 000
C P.D.E.	1 000
Accumulateur Tudor	1 000
Est-Lumière	1 000
Geoffroy-Delore	500
Compagnie de constructions électriques	500
Société d'applications industrielles	500
Compagnie continentale des compteurs	500
Société Parisienne pour l'industrie des chemins de fer électriques	500
Compagnie de travaux d'éclairage et de force	300
Etablissements Jules Richard	250
Compagnie électrique de la Loire et du Centre	250
Air Liquide (l')	200
Union électrique de Saint-Claude	200
Marillier Jeanniot et Cie (La Pile Leclanché)	200
Alliot et Rol	150
Delafon et Cie	100
Ecole Supérieure d'électricité	20 000
Enseignement technique	50 000
	101 150

En outre, après clôture des comptes, nous avons reçu de la Compagnie des compteurs 1 000

De son côté, l'Ecole a bénéficié des souscriptions suivantes :

Compagnie Edison	1 000
M. Geoffroy	1 000
M. de Rothschild	2 000
Société Gramme	1 000
Total	5 000

auxquelles il faut ajouter celles de

M. Robard	500
et de la Société des Tréfileries du Havre	1 000

reçues après clôture des comptes.

Digitized by Google

Dans les dépenses de l'Ecole, nous signalons le versement de 20 000 francs effectué cette année au compte amortissement (constructions). Il ne restera plus ainsi à amortir, avant le déplacement de l'Ecole, sur la valeur des constructions qui lui sont affectées rue de Staël, que la somme de 69 353,10 fr.

Le chapitre du compte d'exploitation intitulé Société Savante, qui était pour les exercices précédents en déficit important, se solde cette année par un léger excédent grâce au relèvement du taux des cotisations et à la compression opérée sur les dépenses de publication du bulletin.

Bilan. — Les différents postes du bilan sont présentés de la même manière que les années précédentes, sauf que l'on a partagé l'actif des postes constructions et matériel entre la rue de Staël et Malakoff.

Nous vous signalons d'ailleurs l'augmentation importante du poste constructions qui correspond à l'activité avec laquelle se sont poursuivis, en 1926, les travaux de la nouvelle école.

Le compte portefeuille figure toujours à l'actif pour sa valeur d'achat, sa valeur réelle est sensiblement supérieure à celle de l'année dernière, grâce à la revalorisation du cours des titres. D'autre part, au passif, le compte amortissement du portefeuille a reçu cette année une nouvelle dotation, qui ramène ainsi, à peu de choses près, la valeur du portefeuille à sa valeur réelle au 31 décembre 1926.

En résumé, les vérifications auxquelles nous avons procédé, nous ont permis de constater la parfaite régularité des comptes qui nous ont été soumis.

Elles nous permettent en outre, de vous signaler que la situation financière de notre Société, grâce à la gestion sage et prudente dont elle est l'objet, s'est maintenue satisfaisante pendant l'exercice écoulé.

Nous vous proposons, en conséquence, d'approuver les comptes tels qu'ils vous sont présentés.

Digitized by Google

COMPTE D'EXPLOITATION
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRITIENS

Exercice 1926

RÉSUMÉ DE L'EXPLOITATION

	Recettes	Dépenses	Excédent de recettes	Excédent de dépenses
Laboratoire	495 499,78	467 297,23	28 202,55	
Ecole	1 094 075,92	885 112,41	208 963,51	
Société savante.	136 685,25	136 236,98	448,27	
Services généraux	103 510,45	97 407,88	6 102,57	
	1 829 771,40	1 586 054,50	243 716,90	

Digitized by Google

Laboratoire Central d'Electricité.

Budget 1926	*Recettes*		
7.903 »	Arrérages de la rente		7.903 »
200.000 »	Redevances pour essais et étalonnements		383.602 97
	Redevances élèves et tiers		130 50
	Recettes diverses		2.713 31
			394.349 78
122.297 »	Déficit industriel	72.947 45	
	couvert par :		
32.000 »	Souscriptions	72.947 15	101.150 »
	Supplément de souscriptions	28.202 55	
362.200 »			495.499 78

Dépenses			Budget 1926
Personnel		257.053 55	250.000 »
Frais d'Administration :			
Frais de bureau, correspondance et divers	8.095 58		6.000 »
Chauffage	26.120 85	42.385 33	18.000 »
Eau, électricité	6.091 85		3.200 »
Téléphone	2.077 05		1.600 »
Comité d'Eclairage		200 »	200 »
Opérations et essais taxés :			
Moteurs à gaz et électriques	66.937 75		40.000 »
Produits	7.554 60		9.000 »
Atelier	936 20	98.136 50	3.000 »
Déplacements du personnel	6.912 95		4.000 »
Dépenses pour clients	15.795 00		mémoire
Loyers, Impôts, Assurances		1.973 25	2.200 »
Entretien des bâtiments		9.036 95	12.000 »
Entretien des machines et appareils		14.547 80	12.000 »
Expériences et recherches		1.295 95	1.000 »
Amortissements		42.667 90	mémoire
Solde créditeur faisant emploi de la totalité des souscriptions		28.202 55	
		495.499 78	362.200 »

Immobilisations.

Il a été employé pour acquisition d'appareils	20 248,45	mémoire
» pour la salle de haute tension	23 402,10	
Le Ministère des Travaux Publics a versé une nouvelle subvention pour la salle de Haute Tension, de	128 000 »	voir au Bilan

Digitized by Google

Ecole Supérieure d'Electricité.

Budget 1926	*Recettes*		
	Redevances des élèves et auditeurs :		
	Frais d'études ;		
642.000 »	Section normale 725.124 10		
	Sorbonne 21.325,00	746.449 10	
28.000 »	Fournitures diverses	46.659 50	
70.000 »	Autographies	88.477 50	
	Radiotélégraphie :		
99.000 »	Frais d'études	93.257 15	
35.000 »	Section d'Eclairage	70.100 »	
5.000 »	Souscriptions	5.000 »	
35.000 »	Intérêts des fonds placés	40.132 67	
2.000 »	Subvention de la Ville de Paris	2.000 »	
916.000 »		1.094.075 92	

Dépenses		Budget 1926
Personnel	267.989 60	268.000 »
Frais d'Administration :		
Frais de Bureau, correspondance et divers	11.121 20	12.000 »
Chauffage et éclairage	15.588 15	12.000 »
Téléphone	2.776.70	1.850 »
Travaux des élèves :		
Moteurs à gaz et électriques	9.204 35	10.000 »
Produits et dépenses diverses	7.262 90	7.000 »
Atelier	27.278 05	10.000 »
Conférences, projets, examens, etc. ..	127.106 25	132.000 »
Fournitures diverses	31.692 80	28.000 »
Autographies	80.130 65	70.000 »
Sorbonne	12.280 »	12.000 »
Section d'Eclairage	61.788 75	33.000 »
Radiotélégraphie	84.041 50	101.500 »
Impôts, Assurances	9.241 70	10.000 »
Entretien des bâtiments	10.847 75	15.000 »
Entretien des machines et appareils ..	9.509 70	13.000 »
Subvention au laboratoire	20.000 »	20.000 »
Location de salles	11.908 »	12.000 »
Versement du dixième des revenus	4.013 26	3.500 »
Reconstruction Ecole	25.054 64	27.000 »
Amortissements (Portefeuille, construction et matériel)	55.530 06	mémoire
Dépenses diverses	746 40	
Solde créditeur	208.963 51	118.150 »
	1.094.075 92	916.000 »

Immobilisations.

Au cours de l'Exercice, la Société a reçu pour l'Ecole : dons en nature . . . . 1 200 »
» a constitué la ligne artificielle. . . . . 13 839,20 } mémoire
» a acheté du matériel nouveau . . . . . 33 916,20 } voir au Bilan
» enfin a mis en réserve pour achat de valeurs du fonds de réserve 29 996,20

Digitized by Google

A. Société Savante.

Exploitation.

Budget 1926	*Recettes*		*Dépenses*		Budget 1926
80.000 »	Cotisations de l'exercice	125.985 55	Frais de publication : Bulletin affranchi	83.527 23	70.000 »
	Prélèvement sur intérêts pour part contributive des cotisations libérées dans la dépense du Bulletin (133 × 35)	4.655 »	Frais de réunions : Location de salles 3.539 70 ; Sténo. Semaine octobre 1.435 00	4.974 70	4.400 »
1.000 »	Produits du Bulletin	6.044 70	Frais d'Administration	8.754 90	12.500 »
41.450 »	Solde débiteur	»	Frais de correspondance	5.271 70	5.800 »
			Personnel	33.708 45	29.750 »
			Solde créditeur	448 27	
122.450 »		136.685 25		136.685 25	122.450 »

B. Services Généraux.

Exploitation.

75.000 »	Intérêts des fonds placés 87.126 44 ; A déduire : Prélèvements par Société Savante 4.655 ; Prélèvement pour fonds social.. 8.749 70, 13.404 70	73.721 74	Bourses et Fondations	8.889 88	7.000 »
			Cotisations à Comités divers	4.400 »	4.500 »
			Versement à la Société nouvelle	18.982 80	18.000 »
			Entretien de la bibliothèque	4.714 05	3.000 »
			Frais de représentation	2.615 70	2.400 »
			Frais d'Administration	6.215 25	3.100 »
7.000 »	Intérêts des legs et fondations	8.889 88	Frais de correspondance	1.317 90	1.700 »
18.000 »	Versement de l'Ecole pour la reconstruction	18.982 80	Personnel	22.472 30	21.250 »
			Pensions	7.800	8.400 »
	Souscriptions	819 35	Amortissement	20.000 »	
	Recettes diverses	1.096 68	Solde créditeur	6.102 57	30.650 »
100.000 »		103.510 45		103.510 45	100.000 »

A et B. Immobilisations.

Les Services ont reçu au cours de l'année pour versement du 1/10 des revenus de l'Ecole	4.013 26	Mémoire.
— — pour cotisations libérées à porter au fonds social	4.769 75	
— — pour fondation Joubert	500 »	
Il a été prélevé sur la subvention du Comité des Chemins de fer pr versement du 3e quart sur actions Société Nouvelle	45.500 »	Voir au Bilan
La Société a cédé 20 actions de la Société Nouvelle pour	14.500 »	
Il a été versé (sur les intérêts) au fonds social, la retenue statutaire 1/10e	8.749 70	

Digitized by Google

EXERCICE 1926

Bilan de la Société Française des Électriciens.

Résultats 1925	ACTIF			PASSIF		Résultats 1925
38.421 40	Bibliothèque et mobilier	43.135 40	1re, 2e, 3e et 4e parties.	Avances	493.634 20	301.742 25
2.775.247 58	Constructions	5.703.974 63		Créanciers	4.322.187 73	2.664.347 76
1.075.395 09	Matériel	2.128.471 59		Amortissement général	147.715 60	64.500 »
1.541.963 13	Débiteurs divers	2.106.349 79		Amortissement du Portefeuille	181.689 79	146.707 23
1.150.280 41	Portefeuille	1.117.391 52		Réserves	3.700.899 43	1.633.737 33
1.646.669 91	Caisse et banques	1.442.144 43		Capital	3.695.340 61	3.416.942 75
8.227.977 52		12.541.467 36			12.541.467 36	8.227.977 32

Digitized by Google

Tableaux de développement du Bilan 1926 de la Société Française des Electriciens

1re PARTIE. — Laboratoire

Résultats 1925	ACTIF			PASSIF			Résultats 1925
2.975 40	*Bibliothèque et mobilier.*			*Créditeurs*	45.842 95		41.306 15
	Bibliothèque		2.975 40	*Amortissements.*			
	Constructions.			1926 ..... 42.667 90			
	Constructions	526.237 63		Antérieurs 45.386 45	88.054 35		45.386 45
528.514 63	Canalisations	2.277 00	528.514 63	*Réserves.*			
	Instruments et matériel.			Réserve pour salle Haute Tension. Subvention travaux publics. 278.000 »			
	Antérieurs	622.615 09					
622.615 09	1926	20.248 45	642.863 54	moins dépenses :			
	Salle Haute Tension.			en 1925 .... 39.586 00			
	1925	39.586		en 1926 ..... 23.402 10,	62.988 10	215.011 90	110.414 »
39.586 »	1926	23.402 10	62.988 10	Souscriptions en réserve		7.954 10	
	Caisse et Banque.			*Avance.*			
648 30	Caisse		1.937 45	Avance Jouaust		néant	3.216 »
640. »	Cautionnement		640 »				
207.955 30	*Débiteurs divers*		363.206 85				
1.402.934 72			1.603.125 97			356.863 30	200.322 60

Digitized by Google

Tableaux de développement du Bilan 1926 de la Société Française des Electriciens *(Suite)*

2e PARTIE. — Ecole

Résultats 1925	ACTIF			PASSIF			Résultats 1925
	Constructions.			*Avances.*			
90.216 20	Constructions	90.216 20					
2.745 50	Canalisations	2.745 50	92.961 70	Redevances élèves 1927	203.705 00		170.430 »
	Instruments et matériel.			Autographies 1927	62.677 40		41.421 25
				Redevances Radio 1927 ..	100.000 80	466.292 20	84.950 »
	Antérieurs	400.750 30					
	Dons en nature .. 1.200 00			*Créanciers*		38.502 65	31.860 55
	Ligne artificielle . 13.839 20						
409.750 30	Acquisitions 1926 33.916 20			*Amortissement du Portefeuille*		77.982 56	63.000 »
	.....	48.955 20	458.705 70				
				Amortissement du matériel et des constructions		59.661 25	19.113 75
1.310.715 45	Débiteurs divers		700.724 16				
	Caisse et banques.			*Réserve.*			
5.386 56	Caisse	8.758 47					
143 35	Cautionnement	143 35	8.901 82	*Réserve Radio*		37.678 35	37.678 35
	Portefeuille.						
112.394 »	Fonds de réserve	129.994 00					
321.582 »	Fonds disponibles	351.614 00					
126.123 96	Compte dépréciation des valeurs	77.082 56	559.590 56				
2.379.057 32			2.820.883 94			680.117 01	448.453 90

Digitized by Google

3e Partie. — Reconstruction Ecole.

ACTIF				PASSIF			
Résultats 1925							Résultats 1925
	§ 1. — *Souscription d'actions.*						
	Portefeuille.			*Réserve.*			
95.000 »	Actions souscrites par la S. F. E. à S. N.	125.500 »					
4.000 »	MM. Janet et autres	4.500 »	130.000 »	Comité des chemins de fer et divers	170.050 »	170.050 »	170.050 »
	§ 2. — *Opérations diverses.*						
	Débiteurs divers.			*Réserve.*			
18.306 18	Intérêts s avance de la S. N.	35.971 98					
1.232 05	Société nouvelle, compte de remboursement d'avances	2.610 65	38.582 63	Versements Ecole	38.490 98	38.490 98	19.508 18
	§ 3. — *Travaux et matériel.*						
	Constructions.			*Réserve.*			
1.275.468 25	Terrain	1.279.688 50		Subvention de l'Etat	1.924.905 »		895.300 »
750.408 »	Constructions	3.534.914 80		Subvention de la ville et du département	1.200.000 »		400.000 »
127.895 »	Honoraires des architectes	267 805 »					
				Créanciers.			
3.443 70	*Matériel*	963.914 25	6.046.412 55	Société nouv. ses avances.	2.550 000 »	5.674.905 »	1.225.468 25
2.275.753 18			6.214.995 18			5.883.445 98	2.710.326 43

Digitized by Google

4e Partie. — Société Savante et Services généraux.

Résultats 1925	ACTIF			PASSIF		Résultats 1925
	Bibliothèque et mobilier.			*Avances.*		
1.900 »	Mobilier	1.900 »		Cotisations anticipées	27.342 »	1.725 »
33.546 »	Bibliothèque	38.260 »	40.160 »			
	Portefeuille.			*Créanciers.*		
	Fonds de réserve					
59.127 86	Valeurs mobilières	89.938 19		Divers	1.687.842 13	1.338.602 21
17.911 80	Espèces à transformer en					
157.730 33	valeurs	16.397 11	106.335 30			
	Fonds disponibles		73.375 58	*Amortissement du Portefeuille.*		
166.606 85	Compte de dépréciation					
	du portefeuille		124.437 84	Amortissement	103.707 23	83.707 23
	Legs et Fondations.			*Réserve.*		
	Legs Hughes	35.978 80				
	Legs Cheux	38.703 54		Réserve générale	36.803 05	1.559 35
	Fondation Cohen	3.287 50		Réserve pour étalon de lumière		
	Fondation Joubert	5.566 »		blanche	24.103 »	
	Caisse Joubert	526 28			25.903 05	26.338 05
	Fondation Guyau	30.912 »		Réserve pour concours		
	Legs Ancel	8.645 00		Réserve pour souscription avec affec-		
107.715 41	Caisse Ancel	33 12	136.652 24	tation spéciale	20.000 »	
	Caisse et banques.					
	Caisse	7.254 34				
	Crédit Lyonnais	157.964 95				
	Crédit Commercial	1.247.044 30				
	Libert	11.670 23				
	Chèques postaux	6.690 04				
1.621.939 90	Caisse dépôts	41 30	1.430.665 16			
3.754 15	*Débiteurs divers*		3.836 15			
2.170.232 30			1.902.462 27		1.925.700 46	1.451.931 84

Digitized by Google

RAPPORT ANNUEL SUR LE LABORATOIRE CENTRAL ET L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ

par M. Paul JANET, Directeur

I. — Laboratoire central d'électricité.

1° *Personnel.* — Le personnel du Laboratoire central d'Electricité a compris en 1926, 17 personnes, à savoir : un directeur, un sous-directeur, un sous-directeur adjoint, un chef de service, six chefs de travaux et ingénieurs, trois aides de laboratoire et quatre électriciens.

Il est donc resté à une unité près le même qu'en 1925. Mais plusieurs changements ont eu lieu parmi nos jeunes ingénieurs. Nous devons encore une fois exprimer le regret de voir nos jeunes collaborateurs nous abandonner précisément au moment où bien au courant des divers travaux à effectuer, ils pourraient nous rendre des services plus importants.

Il y a là un état de choses qui n'est peut-être pas sans inconvénient pour l'avenir du Laboratoire.

2° *Matériel.* — La faiblesse des crédits prévus à notre budget pour l'augmentation de notre matériel, ne nous permet pas de nombreuses acquisitions. Nous devons toutefois signaler l'achat d'un wattmètre de 2,5 ampères, d'un voltmètre électrodynamique de 75 — 300 volts, d'un ampèremètre électrodynamique pour 0,5 — 1 ampère, d'un transformateur de mesure et de deux transformateurs permettant d'obtenir des courants de 5 000 ampères pour les étalonnements d'ampèremètres et de wattmètres.

Divers dons ont été faits au Laboratoire, en particulier, un pont de Wheatstone de précision, par l'Association des ouvriers en instrument de précision, et un wattmètre de précision, 2,5 ; 5 A sous 30, 75, 150 V par M. WESTON lui-même à la suite d'une visite qu'il avait bien voulu nous faire au Laboratoire. Nous remercions vivement ces généreux donateurs.

Digitized by Google

3° *Installations nouvelles.* — Je rappellerai également que, grâce à une subvention accordée en 1925, par le Ministère des Travaux Publics (Comité d'études et de recherches pour l'aménagement des forces hydrauliques), nous avions commandé en 1925 un transformateur de 300 000 V, 200 kVA. Cet appareil nous sera livré sous peu.

Deux salles du Laboratoire ont été aménagées pour l'organisation des essais de haute tension que nous permettra cet appareil.

Une nouvelle subvention, accordée en 1926, a été consacrée à la commande d'un groupe de transformateurs et d'auto-transformateurs destiné à l'alimentation et au réglage du transformateur principal par branchement direct sur le secteur.

Lorsque tous ces appareils seront livrés et installés, le Laboratoire central sera mieux armé pour rendre à l'industrie les services qu'elle en attend.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que la tension de 300 000 V efficaces que nous pourrons réaliser sera encore faible, vis-à-vis des besoins actuels, et qu'il faudra envisager un jour de la porter à 600 000 V.

Nous avons donc eu soin, comme je le signalais déjà l'an dernier, d'envisager l'avenir et de faire en sorte que notre installation de haute tension puisse être facilement transformée en une installation de tension double après agrandissement des locaux existants.

4° *Essais.* — Le nombre total des essais effectués en 1926 s'est élevé à 1 193 contre 1 535 en 1925. Mais en revanche, les recettes qui étaient de 209 625 francs en 1925, se sont élevées à 383 600 francs en 1926.

Cette différence considérable tient à l'importance de plus en plus grande, prise par les essais longs et difficiles.

Nous donnons ci-dessous la répartition des essais dans les diverses catégories :

	1925	1926
Lampes à incandescence	514*	304**
Haute tension	137	144
Voltmètres	105	84
Ampèremètres	70	81
Systèmes d'éclairage divers	35	72

(*) Portant sur 2 364 lampes.
(**) Portant sur 810 lampes.

Digitized by Google

	1925	1926
Fers et tôles	164	69
Piles	78	67
Transformateurs	71	66
Compteurs divers	66	52
Wattmètres	50	48
Résistivités — Conducteurs	34	31
Résistivités — Isolants	36	21
Machines	17	12
Compteurs ministères	11	11
Oscillographes	10	8
Isolements	14	8
Accumulateurs	13	5
Paratonnerres	3	1
Divers	107	109

Nous dirons quelques mots sur les plus intéressants de ces essais.

Dans la section des courants alternatifs, dirigée par M. DE LA GORCE, les essais les plus fréquemment demandés sont, comme les années précédentes, l'étalonnement des transformateurs de mesure. Nous sommes aujourd'hui très bien organisés pour ce genre d'essais particulièrement délicats.

On nous a demandé également des mesures de répartition des potentiels le long d'une chaîne d'isolateurs. Cette question a été élucidée depuis plusieurs années par M. DE LA GORCE, qui a réussi à mettre au point pour cette détermination une méthode sûre et précise.

Enfin, nous avons entrepris des essais sur divers types de parafoudres. Ces essais avaient pour but de déterminer l'intensité instantanée du courant les traversant, en fonction de la tension appliquée aux bornes : commencés en 1926, ils se sont continués en 1927, et seront terminés sous peu et je pense que nous pourrons alors, avec l'autorisation de la maison qui nous a demandé ces essais, exposer à la Société française des Electriciens le mode opératoire employé et les précautions prises pour éviter les diverses difficultés que nous avons eues à surmonter.

Dans la section de photométrie dirigée par M. JOUAUST, nous avons eu des essais particulièrement importants.

A la suite de la campagne menée par la Société pour le perfectionnement de l'éclairage, les constructeurs ont senti le besoin d'être mieux renseignés sur les propriétés de leurs appareils.

Digitized by Google

Nous avons donc dû examiner de nombreux dispositifs d'éclairage électrique, tant au point de vue du rendement, qu'au point de vue de la courbe de répartition de l'intensité lumineuse. Du reste, toutes les courbes figurant dans la salle d'exposition de la Société pour le perfectionnement de l'éclairage, représentent le résultat des mesures effectuées au Laboratoire central.

Mais les propriétés des appareils producteurs de lumière ne sont pas les seules à envisager dans les problèmes d'éclairage : l'absorption des verres, le pouvoir réflecteur des peintures, sont à considérer. Le Laboratoire central s'est mis à même de déterminer ces diverses grandeurs, et nous pourrons vous communiquer sous peu les résultats de mesures effectuées par M. WAGUET, sur le pouvoir réflecteur des diverses substances qui peuvent constituer les parois de nos appartements.

Le Congrès de photographie de 1925 avait proposé, pour étalon de sensitométrie, des lampes à incandescence à filament de tungstène dans le vide, fonctionnant à la température de 2 360°K. Le laboratoire est en état aujourd'hui de fournir et même fournit déjà de semblables étalons.

La section des machines, dirigée par M. LEMENAND, a également fait preuve d'une grande activité comme les années précédentes.

Les grands producteurs et distributeurs d'énergie électrique ont eu recours à nous, pour la réception de leurs diverses machines.

C'est ainsi que nous avons été associés aux réceptions de turbo-alternateurs de la Compagnie parisienne de Distribution d'électricité, de redresseurs à mercure de la Compagnie du Chemin de fer Métropolitain, et des câbles armés, en usine, d'une importante Société de distribution d'électricité du Midi.

Une importante aciérie de la Sarre nous a demandé d'exécuter des relevés oscillographiques sur son installation pour l'épuration électrique des gaz de hauts fourneaux.

Enfin, les municipalités de deux villes de province en désaccord avec leurs fournisseurs d'énergie électrique, nous ont demandé d'aller sur place procéder à la vérification des compteurs installés chez les abonnés.

Six éléments d'accumulateurs de sous-marins ont été, en 1926, soumis aux essais prévus dans le programme établi par les services du génie maritime.

Je rappelle que ces essais se font dans une installation spéciale, dont les frais d'établissement ont été en grande partie couverts par le Ministère de la Marine.

Digitized by Google

Dans la même salle, et avec l'autorisation du Ministère de la Marine, nous avons commencé en 1926, à la demande de l'Union des syndicats de l'Electricité, des essais sur des accumulateurs de traction.

Huit batteries prennent part à ces épreuves, qui comprennent des décharges sur appareil trépidant dans des conditions aussi identiques que possible à celles de la pratique.

Les essais se poursuivent; plusieurs batteries ont déjà effectué un nombre de décharges supérieur à 200.

Des essais de chauffe-eau électriques ont également été effectués au Laboratoire central, suivant un programme établi par une commission comprenant des représentants de la Société Française des Electriciens, de l'Union des Syndicats de l'Electricité, du Comité français de l'Eclairage et du chauffage et de la Société pour le développement des applications de l'Electricité.

Ces essais ont porté sur des appareils ayant des contenances de 30, 100 et 200 litres.

5° *Recherches.* — Nous rappellerons que les recherches exécutées au Laboratoire central d'Electricité, n'ont jamais un caractère purement spéculatif. Elles ont toujours pour but principal, soit d'améliorer nos méthodes de mesure, soit d'en créer de nouvelles, de façon à nous mettre en état de fournir à l'industrie tous les renseignements dont elle peut avoir besoin.

Un des principaux rôles du Laboratoire central d'Electricité est d'assurer pour la France la conservation des étalons électriques.

C'est dans ces conditions, que nous avons été amenés à comparer nos étalons de l'ohm avec ceux du National Physical Laboratory.

Cet établissement nous avait envoyé deux ohms en manganin, que nous avons comparés avec nos propres étalons métalliques.

Les résultats ci-dessous sont exprimés en ohm de Washington, nom donné à la valeur moyenne des étalons des divers Laboratoires nationaux, telle qu'elle résulterait du travail fait en commun en 1910 au Bureau of Standards.

	Valeur N.P.L. à 20°C	Valeur L.C.E. à 20°C
4 202	$1{,}00008_4$	$1{,}00005_5$
4 204	$1{,}00003_7$	1,000010

L'écart comme on le voit atteint 28 millionièmes.

Si on se rapporte à nos précédents rapports antérieurs à la guerre,

Digitized by Google

on y trouvera les résultats de semblables comparaisons conduisant à une concordance bien meilleure.

Néanmoins, on voit qu'un laps de temps de 16 années ne semble pas avoir apporté de perturbations trop profondes dans la valeur des résistances métalliques, qui à côté des étalons primaires à mercure d'un emploi extrêmement délicat, constituent des étalons secondaires se prêtant facilement à des mesures rapides et très suffisamment précises.

Par l'intermédiaire de M. CHATELAIN, qui a transporté en divers laboratoires des éléments étalons, appartenant au Bureau des Poids et Mesures russes, nous avons pu faire une comparaison indirecte de nos piles étalons avec celles du Bureau of Standards.

Les résultats de cette comparaison sont les suivants :

	Valeur L.C.E. moins Valeur B. of S. Microvolts
n° 1	— 5
n° 2	+ 25

Cette concordance est très satisfaisante pour des comparaisons aussi indirectes.

L'établissement des étalons de sensitométrie dont nous avons parlé plus haut, nous a amenés à nous occuper de la mesure de la température des filaments de lames à incandescence grâce à une subvention accordée à M. JOUAUST par la caisse des recherches scientifiques, nous avons pu faire construire un pyromètre à filament disparaissant.

Un premier étalonnement de cet appareil a été fait au Laboratoire de physique de l'Université de Strasbourg, grâce au concours qu'a bien voulu nous prêter M. RIBAUD.

Une étude a été entreprise pour vérifier cet étalonnement au Laboratoire de l'Ecole normale supérieure. Dans cette étude, on utilisait le corps noir construit par M. FLEURY et les procédés de mesure qu'il avait imaginés pour réaliser un étalon d'intensité lumineuse. Il suffisait en effet d'admettre une valeur pour la constante de Wien, et de se donner la valeur du point de fusion de l'or, pour déterminer la température à laquelle se trouvait le corps noir, dans les conditions de l'expérience.

Quoique ces recherches ne soient pas encore terminées, nous pouvons dire qu'elles nous ont permis d'amener des lampes à la température de coloration de 2 360°K, avec une précision suffisante pour les besoins de la pratique.

Digitized by Google

Nous avons du reste pu comparer nos résultats avec ceux d'étalons de sensitométrie qui nous avaient été envoyés par le National Physical Laboratory, et aussi avec l'étalon de sensitométrie à acétylène tel qu'il est utilisé par la Kodak Company et comme nous venons de le dire, la concordance paraît plus que suffisante pour les besoins de la pratique industrielle.

A la suite du travail de M. FLEURY, dont nous avons parlé plus haut, d'importantes recherches de réalisation de l'étalon d'intensité lumineuse ont été entreprises en collaboration entre le Laboratoire de Physique de l'Ecole normale supérieure, le Laboratoire de la Société du Gaz de Paris et le Laboratoire central d'Electricité.

Ces travaux sont effectués sous la direction d'une commission composée de MM. J. CHAPPUIS, ABRAHAM et JOUAUST. Ils sont actuellement poursuivis au Laboratoire de la Société du Gaz de Paris, qui leur a consacré des ressources considérables tant en personnel qu'en matériel ; de son côté le Laboratoire central d'Electricité a reçu pour le même objet, de la Compagnie des Lampes, de la Société pour le perfectionnement de l'Eclairage, du Syndicat des fabricants français de lampes électriques et du Syndicat des producteurs et distributeur, une importante subvention dont nous leur sommes profondément reconnaissants.

Enfin, MM. JOUAUST et WAGUET ont continué leurs recherches sur la photométrie hétérochrome, et un travail sur l'emploi des écrans colorés va paraître sous peu dans la *Revue d'optique*.

Nous serons d'ailleurs amenés probablement à des recherches d'assez grande envergure, sur cette question de la photométrie hétérochrome. Ces recherches, faites en collaboration avec les Laboratoires nationaux d'Angleterre, des Etats-Unis et d'Allemagne, sont entreprises à la demande d'un certain nombre d'importantes manufactures de lampes qui se plaignaient, avec raison, des différences dans les mesures photométriques de leurs produits dans les divers pays.

Les études sur l'échauffement des conducteurs isolés demandées par la Ville de Paris et l'Union des Syndicats et dont s'occupait M. LEMENAND, ont été terminées en 1926 et un rapport à ce sujet a été adressé à l'Union des Syndicats de l'Electricité.

Nous devons également signaler que M. DE LA GORCE a continué ses recherches pour l'établissement d'un étalon d'inductance, et qu'au cours de 1926 il a été exécuté par MM. DE LA GORCE et DELECOURT, une série de comparaisons entre les étalons d'inductance construits en

Digitized by Google

1925, et une capacité mesurée en valeur absolue à la Sorbonne par M. BEDEAU. La concordance a été de l'ordre de deux millièmes.

Cette concordance n'est pas tout à fait satisfaisante, et nous montre que de nouvelles recherches dans cette vue sont encore nécessaires.

Ces quelques exemples montrent l'importance de ces travaux de conservation des étalons qui est un des buts principaux du Laboratoire; il est à souhaiter que nos ressources nous permettent, en raison de leur intérêt général, de leur donner toute l'ampleur nécessaire.

6° *Relations du Laboratoire avec la Société française des électriciens et l'Union des Syndicats de l'électricité.* — Comme toujours, le personnel du Laboratoire a collaboré activement aux travaux de notre Société.

MM. JOUAUST et DE LA GORCE ont présenté des rapports aux journées de discussions d'octobre, et M. DE LA GORCE a exposé, à notre sixième section, le nouveau procédé de détermination des potentiels le long des chaînes d'isolateurs qu'il a imaginé et auquel j'ai fait allusion plus haut.

Le personnel du Laboratoire prend également une part active aux travaux de diverses commissions de l'Union des Syndicats de l'Electricité, soit par l'établissement de programme d'essais, soit par des rapports techniques comme celui de M. DE LA GORCE sur la mesure des tensions maximum.

7° *Souscriptions.* — Comme on l'a vu dans le rapport de la Commission des comptes, le déficit annuel du Laboratoire a été, une fois de plus, comblé par nos fidèles souscripteurs auxquels nous exprimons notre très vive gratitude : mais, pour la première fois depuis longtemps nos recettes ont été suffisantes pour nous dispenser de faire un prélèvement sur les fonds disponibles : il y a là une preuve manifeste de l'activité du Laboratoire et des efforts qu'il fait, grâce au dévouement inépuisable de ses collaborateurs, pour se suffire à lui-même. Il y a là, pour nos souscripteurs, une sécurité précieuse et l'assurance que les fonds qu'ils nous apportent seront, conformément à leur intention, employés au développement et à l'accroissement des moyens d'action de notre Etablissement.

Digitized by Google

II. — Ecole Supérieure d'Electricité.

I. — Matériel.

Nos crédits d'acquisition de matériel ont été, comme l'année précédente, employés pendant l'année 1926 à compléter et remettre au point nos collections. Les achats ont servi, de plus, à constituer des ensembles aussi homogènes que possible, qui pourront trouver leur place à côté du matériel neuf que nous avons prévu pour l'équipement des locaux de la nouvelle Ecole.

Je mentionnerai ici les appareils suivants :

Atelier : Deux petites perceuses, une cisaille pour tôle de 4 mm petit outillage.

Salle d'essais de machines : Un groupe d'essais continu-triphasé.

Salle de travaux pratiques de mesures : Un banc photométrique en fonte de 3 m. de long.

Services généraux : Un poste portatif de cinématographie et projections.

Comme par le passé, nos fournisseurs ont fait preuve à notre égard de beaucoup de libéralité dans l'établissement de leurs prix. De nombreux dons, dont la liste a paru dans notre *Bulletin*, sont en outre venus s'ajouter à nos achats.

II. — Enseignement et personnel.

Le Conseil de Perfectionnement de l'Ecole a décidé, en 1926, la création de deux conférences sur les fours électriques. Cet enseignement a été confié à notre collègue, M. Levasseur, dont on connaît la compétence à ce sujet.

D'autre part, pendant l'absence de M. M. Latour retenu en Amérique, sa suppléance a été confiée à M. Langlois, Ingénieur E. S. E., Ingénieur aux Forges et Ateliers de constructions électriques de Jeumont. On sait que M. Langlois, qui a fait partie d'une de nos promotions d'après guerre, a déjà apporté une importante contribution à l'étude et à la réalisation des machines à courant alternatif à collecteur, dont la construction se développe rapidement.

Digitized by Google

III. — Promotion XXXII (1925-1926).

Il a été délivré à la fin de juillet 1926, 194 diplômes se répartissant comme suit :

Officiers et Ingénieurs délégués par l'Etat	30
Ingénieurs des Arts et Métiers	28
Ingénieurs des Instituts Electrotechniques (Grenoble, Lille, Nancy, Toulouse)	19
Licenciés ès Sciences	15
Elèves étrangers diplômés d'écoles techniques supérieures	11
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique	8
Ingénieurs de 1re classe de l'Ecole Centrale Lyonnaise	7
Ingénieurs civils de l'Institut Industriel du Nord de la France	5
Ingénieurs des Arts et Manufactures	3
Ingénieurs des Constructions civiles (Ecole nationale des Ponts et Chaussées)	3
Ingénieurs de l'Ecole de Physique et de Chimie Industrielles	2
Ingénieurs de l'Ecole supérieure d'Aéronautique et de Constructions mécaniques	2
Ancien élève de l'Ecole navale	1
Ingénieur civil des Mines	1
Elèves reçus aux concours antérieurs et divers	17
Elèves reçus au concours de 1925	42
	194

IV. — Promotion XXXIII (1926-1927).

Composition de la promotion. — La promotion en cours d'études comprend 235 élèves, en voici la composition :

Officiers et ingénieurs délégués par l'Etat	31
Ingénieurs des Arts et Métiers	38
Licenciés ès sciences	26
Ingénieurs des Instituts Electrotechniques (Grenoble, Nancy et Toulouse)	26
Elèves étrangers diplômés d'écoles techniques supérieures	23
à reporter	144

Digitized by Google

Report	144
Ingénieurs civils de l'Institut industriel du Nord de la France	8
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique	5
Ingénieurs des Arts et Manufactures	4
Ingénieurs stagiaires de 1re classe de l'Ecole Centrale Lyonnaise.	3
Ingénieurs civils des mines	2
Ingénieurs des constructions civiles (Ecole nationale des Ponts et Chaussées)	2
Elèves reçus au concours de 1926 (sur 172 candidats)	56
Divers	11
	235

Deux jeunes filles figurent parmi nos élèves réguliers.

A ces élèves, il convient d'ajouter cinq auditeurs libres qui suivent tout ou partie de notre enseignement.

V. — Relations de l'école avec l'université.

Le nombre des étudiants de la Faculté des Sciences inscrits en 1925-1926 aux cours et travaux pratiques du certificat d'électrotechnique générale a été de 64 ; 9 certificats ont été délivrés en juillet et 3 en octobre.

Depuis 1919, année de la création du cours, il a été délivré 125 certificats ; le nombre total des inscriptions se montant à 395, on voit que nous tenons à maintenir à un niveau élevé ce certificat qui, on le sait, joint avec deux autres certificats d'études supérieures, confère le grade de licencié ès sciences.

Pour la première fois cette année, la chaire d'Electrotechnique générale de la Faculté des Sciences a été dotée, sur la taxe d'apprentissage, d'un crédit de 20 000 francs que nous avons utilisé à l'acquisition du dernier modèle d'oscillographe de notre Président d'honneur, M. Blondel.

VI. — Préparation militaire.

Les cours de préparation militaire supérieure (3e groupe) ont été assurés en 1925-1926 par le Commandant Faure, sous la haute direction du Général Jouvin et du Colonel Etienne.

Digitized by Google

Le brevet supérieur de préparation militaire qui est la sanction de cet enseignement, permet à nos anciens élèves d'accéder au grade d'officier de réserve au cours de leur service actif.

Pendant l'année scolaire 1925-1926, 42 élèves de l'Ecole ont été inscrits à ce cours, 25 ont passé le concours du brevet, et 16 l'ont obtenu dans des armes diverses.

VII. — Anciens élèves.

Le nombre total d'anciens élèves ayant passé par l'Ecole (non compris la promotion actuelle) est de 3 429, sur lesquels 3 006 ont obtenu le diplôme. Ces derniers se répartissent ainsi :

Officiers et Ingénieurs de l'Etat	439
Ingénieurs des Arts et Métiers	436
Licenciés ès sciences	378
Anciens élèves de l'Ecole Polytechnique	203
Ingénieurs des Arts et Manufactures	199
Etrangers diplômés d'écoles techniques supérieures	166
Ingénieurs sortant d'écoles diverses (Centrale Lyonnaise, Physique et Chimie, Aéronautique, Instituts Electrotechniques, etc.)	152
Ingénieurs civils des Mines, Ponts et Chaussées, Constructions Navales	36
Elèves reçus aux concours et divers	997
	3 006

VIII. — Section de radiotélégraphie.

Il a été décerné, à la fin de juillet 1926, 56 diplômes d'ingénieurs radiotélégraphistes.

XII^e Session (1926-1927). — *Composition de la Promotion.*

La session en cours d'études comprend 62 élèves, en voici la composition :

Digitized by Google

Officiers désignés par le Ministère de la Guerre :

Génie	2
Infanterie	1
Infanterie coloniale	1
Aéronautique	1
Chars de combat	1
Officiers désignés par le Ministère de la Marine	4
Ingénieurs délégués par l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes	4
Officiers et ingénieurs délégués par les gouvernements étrangers(1)	13
Elèves civils (français et étrangers)	35
	62

A ces élèves il convient d'ajouter deux auditeurs libres qui suivent tout ou partie de notre enseignement.

Le nombre d'anciens élèves brevetés et diplômés de la section de radiotélégraphie est de 426.

IX. — Section d'éclairage.

La deuxième session de notre section d'éclairage s'est ouverte le 1er février 1926 et a été suivie par 36 élèves et un auditeur; 33 élèves ont obtenu le certificat d'études d'éclairage. Cette session était à peine terminée que sur les nombreuses demandes qui nous étaient adressées nous décidions d'en ouvrir une nouvelle pendant le mois de juillet, et de réserver son enseignement à des Ingénieurs en fonctions en pro-

(1) Classement par nationalités des délégués étrangers à la section de radiotélégraphie :

Angleterre : Officier d'aviation	1
Argentine : Officier de l'armée de terre	1
Belgique : Ingénieur électricien	1
Danemark : Ingénieur des télégraphes	1
Grèce : Officier de l'armée de terre	1
Lettonie : Officier de l'armée de terre	1
Norvège : Officier de l'armée de terre	1
Pologne : Officier de l'armée de terre	1
Roumanie : Officier de l'armée de terre	1
Roumanie : Ingénieur radiotélégraphiste	1
Tchécoslovaquie : Officiers de l'armée de terre	2
Turquie : Officier de l'armée de terre	1
	13

Digitized by Google

vince, mais qui se trouvaient rassemblés à Paris à l'occasion de divers congrès et réunions professionnelles.

Cette troisième session a été suivie par 35 auditeurs et n'a pas donné lieu à la délivrance de certificats.

X. — Fondation Joubert.

J'ai rappelé dans mon rapport de 1925 l'origine et le but de cette intéressante fondation, malheureusement trop peu dotée : Mon appel a été entendu, et l'un de nos anciens élèves, M. Frigon, actuellement directeur de l'Enseignement technique de la Province de Québec (Canada) m'a adressé une somme de 500 francs que nous avons ajoutée au capital de cette fondation. Nous ne pouvons, en adressant publiquement nos remerciements à M. Frigon, que souhaiter que ce généreux exemple soit suivi.

XI. — Société amicale des ingénieurs de l'école supérieure d'électricité.

Notre Société Amicale continue à se développer normalement, et si le nombre de ses adhérents n'accuse pas cette année une augmentation aussi considérable que l'an dernier, du moins avons-nous le plaisir de constater que la proportion de ceux de ses membres qui se montrent réellement actifs s'est relevée dans une notable proportion.

XII. — Reconstruction de l'école supérieure d'électricité.

La marche du chantier de reconstruction de l'Ecole a eu à souffrir dans une certaine mesure des difficultés économiques qui se sont manifestées pendant l'année 1926. L'avancement des travaux n'a pas été aussi rapide que nous pouvions l'espérer et ce n'est qu'au début de 1927 que le gros œuvre de tous les bâtiments s'est trouvé achevé.

Toutefois, nous disposons depuis un certain temps de la façon la plus complète des bâtiments réservés aux travaux pratiques, et nous y procédons dès maintenant à l'installation des canalisations électriques qui, dans un établissement comme le nôtre, présentent une importance particulière.

D'un autre côté, pendant que nos architectes et nos entrepreneurs poursuivaient leur œuvre, nous avons pu, malgré les difficultés signa-

Digitized by Google

lées plus haut, et grâce au concours généreux de beaucoup de nos souscripteurs, passer à des prix modérés une partie importante des commandes du matériel qui nous était nécessaire pour l'équipement en machines et appareils de mesures de nos différents services.

Nous pourrons ainsi, dans quelques mois, procéder à une mise en place rapide de tous les éléments indispensables.

Nous ne nous dissimulons pas toutefois qu'un effort considérable reste à faire pendant la période d'été pour assurer en temps voulu, c'est-à-dire le 1er octobre prochain, notre prise de possession définitive des nouveaux locaux. Nous avons cependant le ferme espoir d'y parvenir.

Enfin, grâce à la sagesse avec laquelle sont gérés les capitaux qui nous sont confiés pour la reconstruction de l'Ecole, nous avons pu, sans grever l'avenir, traverser la période particulièrement difficile qui vient de s'écouler. Mais il ne faut pas se dissimuler que nos estimations primitives en ce qui concerne le coût total de la reconstruction doivent être à l'heure actuelle modifiées de façon assez étendue.

Je renouvellerai donc en terminant ce rapport l'appel que j'adressais l'an dernier aux amis anciens et nouveaux de l'Ecole, et j'ai la conviction la plus entière que, devant les importants résultats déjà obtenus, cet appel sera largement entendu et nous permettra de mener à bien l'œuvre entreprise.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

COMMENT PRODUIRE GRATUITEMENT UN KILOWATTHEURE DE 3000 CALORIES. — ? — [1]

par M. Herry,

Directeur de la Société des Centrales électriques des Flandres.

A. — *Comment produire un kWh de 3 000 calories?* — I. *Historique de l'emploi des hautes pressions et de la surchauffe.* — II. *Installations modernes :* 1° *installations d'essai : Atmos à tubes rotatifs de Blomquist ; Löffler à bouilleur sans chauffe directe ; circulation assurée par compresseur ; Schmidt, même principe sans compresseur ; Cycle de Benson ;* 2° *installations de centrales électriques ; Weymouth, Langerbrugge, Bradford ; nouvelle installation projetée à Langerbrugge.*

B. — *Comment produire gratuitement le kWh de 3 000 calories ?* — I. *Cycle de l'eau d'alimentation : Belluzzo et Ferranti.* — II. *Cycle de l'air ; réfrigération de l'alternateur et des produits de la combustion ; soufflage de la grille.* — III. *Cycle du charbon ; emploi du charbon colloïdal ; distillation à basse température ; sous-produits obtenus ; bilan de l'emploi d'une cornue de carbonisation ; application à Langerbrugge ; résultats obtenus.* — IV. *Industries nouvelles pouvant être alimentées par une centrale thermique.* — *Conclusions : bilan or de la production d'un kilowattheure de 3 000 calories par carbonisation à basse température.*

Je tiens d'abord à saluer avec reconnaissance mes maîtres français : si en effet j'ai posé, au début de 1919, le problème d'une turbine à 100 atmosphères, c'est que vous aviez déjà à cette époque conçu et réalisé la centrale à 25 atmosphères, et vous aviez préconisé 50 atmosphères.

Si j'ai réalisé cette première installation à 50 atmosphères, c'est que vous m'aviez montré la voie à suivre ; les hasards de la vie ont conduit dans les plaines flamandes un ingénieur wallon diplômé d'université française, membre de l'association des Ingénieurs français en Belgique et dont je vous apporte le salut. J'y ai trouvé le calme et la volonté nécessaires pour résoudre le problème qui se pose à tout ingénieur d'une centrale : produire économiquement le kilowattheure. J'ose croire

(1) Communication présentée à la réunion mensuelle de la Société française des électriciens du 5 mars 1927.

Digitized by Google

que vous avez attaché toute son importance au point d'interrogation qui termine le titre de cet exposé. Car je veux simplement poser les données du problème, et apporter la faible contribution de mon expérience personnelle pour en avancer la solution prochaine :

Comment produire un kilowattheure de 3000 calories ?

Comment le produire gratuitement ?

A. — Comment produire un kilowattheure de 3 000 calories ?

1°. — Historique de l'emploi des hautes pressions et de la surchauffe.

La consommation normale type (satisfaisant pleinement le producteur d'avant-guerre) était de 1 kg de charbon par kWh ; telle était la production d'un kWh de 6 000 à 7 000 calories. Les super-centrales d'après-guerre, augmentant progressivement la pression et la surchauffe de la vapeur, en des unités de plus en plus puissantes, firent descendre successivement la courbe des calories par kilowattheure à :

5 500 calories pour 25 kg/cm² et 350° C de surchauffe ;

4 500 calories pour 42 kg/cm² et 375° C de surchauffe ;

4 000 calories pour 42 kg/cm² et 400° C de surchauffe ;

3 500 calories pour 50 kg/cm² et 450° C de surchauffe.

Les pressions croissantes jusqu'à la pression critique de 224,4 kg/cm² ont permis de descendre à 3 000 calories, et la courbe des calories tendra vers un chiffre asymptote de 2 000 calories par kilowattheure.

Cette économie dans la génération de l'énergie électrique, est obtenue par une augmentation de rendement de tous les cycles en jeu, mais surtout grâce aux hautes pressions et hautes surchauffes, appliquées en centrales électriques modernes.

L'historique des progrès de la pression de vapeur, au cours d'un siècle et demi, montre que les pressions s'élèvent, depuis la pression atmosphérique ou d'une fraction d'atmosphère utilisée dans la machine de Watt, jusqu'à la pression critique de 224,4 kg/cm² de la chaudière Benson.

L'historique de la surchauffe rappelle qu'en 1827, il y a exactement cent ans, les premiers essais de surchauffe industriels furent appliqués aux machines à vapeur par Becker à Strasbourg, par Richard Trevithick à une machine des mines de Cornouailles.

Watt traita Richard Trevithick « d'assassin » pour avoir osé proposer de monter la pression des chaudières de locomotives à 60 livres par

Digitized by Google

pouce carré, soit 4,25 kg/cm² ; de plus, WATT tenta d'obtenir du gouvernement une loi défendant l'emploi de la vapeur à des pressions aussi « dangereuses ».

En 1801, EVANS dicta la loi d'économie des hautes pressions dans son manuel de *L'Ingénieur mécanicien et constructeur de machines à vapeur* en ces termes : « L'expérience prouve que, si quatre boisseaux de charbon produisent de la vapeur à une atmosphère, cinq boisseaux suffiront pour la produire à deux atmosphères (bien entendu en disposant de la même quantité d'eau et dans le même temps) et huit boisseaux dans les mêmes conditions donneront de la vapeur à 16 atmosphères ».

En 1824, en déduction de principes à cette époque encore erronés, Sadi CARNOT, dans son célèbre mémoire *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, cette admirable genèse de la thermodynamique, écrivait :

« La puissance motrice d'une chute d'eau dépend de sa hauteur et de la quantité du liquide ; la puissance motrice de la chaleur dépend aussi de la quantité de calorique employé et de ce qu'on pourrait nommer, de ce que nous appellerons, en effet, la hauteur de sa chute, c'est-à-dire de la différence de température des corps entre lesquels se fait l'échange du calorique ».

Il aura fallu un siècle pour réaliser les espoirs de rendement industriel que prédisait le cycle de CARNOT.

Cependant déjà, à cette époque, des réalisateurs s'essayaient à mettre en application la production de vapeur à haute pression, précisément à 50 kilogrammes par centimètre carré.

PERKINS, un graveur sur cuivre de Philadelphie, vint en Angleterre où il obtint son premier brevet anglais en décembre 1822. La nouvelle méthode de production de vapeur consistait à remplir entièrement d'eau un réservoir en bronze timbré à 35 atmosphères, qu'on chauffait loin au delà de la température d'évaporation, pour produire par brusque détente une formation subite de vapeur.

La force de la vapeur fut mise en évidence pour le public étonné, par le fait qu'on tirait au moyen de cette « vapeur poudre » des projectiles au travers de fortes tôles.

On parla sérieusement de chaudières « Perkins » transportables pour remplacer les anciens canons à poudre en temps de guerre. PERKINS construisit des joints métalliques en divers alliages, utilisa un graissage au graphite et chercha de toutes façons à faciliter le développement de sa machine. Ce fut en vain.

Digitized by Google

Vers 1830, un autre pionnier de la haute pression, ALBAN, réalisa également la pression de 50 atmosphères, mais il trouva avec peine un constructeur de machines pour 8 à 10 atmosphères.

En 1855, HIRN publia les résultats de ses essais du Logelbach et son célèbre mémoire révéla les avantages industriels de la surchauffe ; la première de ses conclusions fait comprendre clairement que « l'augmentation du volume de la vapeur par la surchauffe, conduit à une diminution de dépense de vapeur et par suite de combustible ». En 1876, G. A. HIRN publia son *Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur* d'où nous extrayons le passage suivant :

« Nul doute qu'on arrivera dans un avenir assez prochain à recourir à des pressions notablement plus élevées que celles qu'on ose aborder aujourd'hui ; mais allât-on jusqu'à 10 atmosphères, ce qui est une pression colossale au point de vue de la résistance des matériaux et de la construction des générateurs, on n'aurait encore qu'une température de 180° C et par conséquent un travail de 169 kgm par calorie avec une machine parfaite, effet qu'en réalité, on n'atteindra pas même de moitié. L'addition d'une température supplémentaire sans changement de pression, l'emploi de la surchauffe, obvie en partie, mais seulement en partie à cette défectuosité ».

Les quelques tentatives des constructeurs de chaudières, de surchauffeurs et de machines à vapeur — Serpolet, Seguin, Schmidt notamment — utilisant la pression de 60 atmosphères et des surchauffes de 300° C, échouèrent par défaut de construction, par mauvaise qualité des huiles, par manque de matériaux adéquats.

Pressions et surchauffes se limitèrent, et les machines à vapeur à multiple expansion devinrent les machines économiques de la fin du siècle dernier.

La turbine fit renaître les applications de la surchauffe. Un essai de haute pression marqua les débuts de la turbine, DE LAVAL réalisa en 1897 une turbine à 100 atmosphères, 350° C, machine qui permit à BLOMQUIST l'essai en 1923 de sa chaudière « Atmos » à tubes rotatifs à une pression de l'ordre de 50 à 60 atmosphères.

Aujourd'hui, à la turbine monocylindrique, succède la turbine à plusieurs corps de détente successive, rappelant ainsi les développements de la machine à piston.

La pression à l'admission des turbines de grande puissance est poussée aussi loin que possible et, à défaut, elle est au préalable détendue dans une turbine d'amont de faible puissance, fonctionnant

Digitized by Google

à une pression inacceptable pour la turbine d'aval de grande puissance. La surchauffe atteint 450° C et plus, les matériaux ayant passé le stade de l'expérience. La vitesse économique de 3 000 t/mn est maintenue pour des puissances de l'ordre de 35 000 kW.

Dans l'installation de semblables turbines à haute pression comportant une turbine d'amont et une turbine basse pression, l'eau d'alimentation étant chauffée par soutirage de vapeur à 200° C, le vide étant de 96,7 pour cent, la pression d'admission atteignant 50 à 100 kg/cm², la température étant de l'ordre de 450° C à 480° C, la consommation de vapeur par kWh (vapeur de chauffage déduite) de l'ordre de 3,35 kg (les calories nécessaires par kWh y compris le réchauffage de l'eau d'alimentation sont de l'ordre de 2 350 à 2 500 par kWh), le rendement est de 34,6 à 36,7 et le rendement global de l'installation (le rendement de chaudière étant de 82 pour cent) atteint 28,5 à 30 pour cent.

L'outil de production du kWh à 3 000 calories est donc pratiquement réalisé.

II. — Installations modernes.

Les constructeurs ont surmonté les difficultés techniques que suscita l'adaptation de leurs chaudières et turbines aux exigences des hautes pressions et hautes surchauffes. Des concepts nouveaux se firent jour pour devancer les progrès réalisés en quelques années d'efforts.

1° *Installations d'essai.* — Il y a lieu de signaler les innovations introduites par Blomquist, Löffler, Schmidt et Benson.

En 1921, la raffinerie de sucre « Carnegie » à Gothenburg, a installé une chaudière « Atmos » pour une pression de 50 à 60 atmosphères avec turbine « De Laval ».

Cette chaudière, imaginée par l'ingénieur suédois Blomquist, a été construite par la Compagnie « Aktiebolaget Atmos » de Stockholm et a travaillé pendant deux ans ; une autre chaudière « Atmos » à 100-110 kg/cm² a été commandée.

La chaudière pour 60 atmosphères se compose de 6 tubes rotatifs de 305 mm de diamètre extérieur et de 10,5 mm d'épaisseur. La longueur exposée au feu est de 2,5 m, la vitesse de rotation de 330 t/mn.

Pour la pression de 110 atmosphères il n'y a qu'une rangée de tubes d'un diamètre de 250 m, l'épaisseur des parois est de 15 mm.

Grâce à la force centrifuge, l'eau est constamment en contact avec la paroi : la vapeur est recueillie à l'extrémité dans un tube concen-

Digitized by Google

trique formant pivot. La pression sur les parois du tube rotatif est, par suite de la force centrifuge, un peu supérieure à celle qui règne dans le tube de prise de vapeur. Cette différence de pression est utilisée pour le réglage de l'alimentation en eau de façon à assurer une épaisseur de 30 à 50 mm d'eau dans tous les tubes rotatifs. La surface de chauffe étant complètement immergée, il est permis d'atteindre un taux de vaporisation fort élevé de l'ordre de 300 à 400 kg par heure et par m² de surface de chauffe.

Les pompes d'alimentation, partie importante de l'installation, consistent en six minces plongeurs commandés par engrenage et manivelle. Le régulateur d'alimentation assure un excès d'eau. La chaudière « Atmos » de Gothenburg est combinée avec une chaudière ordinaire qui absorbe la chaleur restant dans les gaz chauds. Elle alimente une petite turbine « De Laval » construite par la « Dampfturbinengesellschaft De Laval » à Stockholm et qui fonctionne à une pression de 50 atmosphères à la vanne d'admission et une contre pression de 2 atmosphères. Elle comporte cinq roues en bout d'arbre, et tourne à 6000 t/mn (1). Il existe en outre un générateur « Atmos » à quatre rotors en Suède, dans une fabrique de cellulose.

Une installation de chaudières « Atmos » à huit rotors, en vue d'actionner une turbine de 1000 kW à 10500 t/mn à la pression de 100 kg/cm² est en montage aux usines de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques à Mulhouse. Cette Société s'est attachée à surmonter les difficultés de rendement industriel de la chaudière à tubes rotatifs.

Des essais ont été faits à Floridsdorf près de Vienne en 1925, sur une installation imaginée par le professeur Löffler de Charlottenburg, dont le générateur de vapeur fonctionna à la pression de 100 atmosphères et à 400° C température de la vapeur surchauffée.

Dans le but d'éviter des difficultés de construction et le danger d'explosion, le ballon en acier ordinaire est placé en dehors de la chambre de combustion. Les seuls organes exposés directement au gaz du foyer sont les tubes du surchauffeur de faible diamètre en acier Martin.

L'eau préalablement chauffée dans l'économiseur, est vaporisée par injection de vapeur surchauffée. La vapeur saturée ainsi produite est aspirée par un compresseur qui la refoule au surchauffeur. A la sortie

(1) V. D. I. Bücher Hochdruckdampf von O. H. Hartmann 1925.

Digitized by Google

de celui-ci, la vapeur à haute pression et à la température de surchauffe est dirigée d'une part vers le bouilleur et d'autre part vers les appareils d'utilisation.

Une chaudière auxiliaire à pression modérée, fournit la vapeur nécessaire à la mise en charge de l'installation.

Les incrustations et, par conséquent aussi, les coups de feu dans les faisceaux tubulaires ne sont pas à craindre, ceux-ci ne recevant que la vapeur.

L'épaisseur des parois du bouilleur est seulement la moitié de celle que l'on devrait donner à un corps de mêmes dimensions soumis à la même pression, mais qui serait percé des ouvertures nécessaires au raccordement d'un faisceau tubulaire. Ce mode de génération de vapeur ne convient évidemment que pour les pressions très élevées : le système ne semble pas applicable à des pressions inférieures à 50 kg/cm². Aux pressions moyennes, la densité de la vapeur est faible, ce qui obligerait à donner au compresseur des dimensions excessives.

Ce nouveau procédé a reçu la sanction de la pratique dans une chaufferie de la Fabrique de Locomotives à Vienne.

Une installation Löffler de 18 000 kW à 120 atmosphères et 550° C serait en construction pour les usines de Witkowitz (Moravie). La turbine « Erste Brunner Maschinenfabrik » ne doit consommer que 3,4 kg de vapeur par KWh et l'on estime qu'une unité produisant 5 600 kW n'occupera pas plus de place qu'une ancienne unité produisant 2 000 kW à pression moyenne.

La Schmidtschen Heissdempgesellschaft à Cassel Wilhelmshohe a mis à l'essai une installation à 60 atmosphères dans laquelle la vapeur haute à pression est également obtenue par chauffage intermédiaire dans un réservoir séparé complètement de la chambre de combustion.

Dans ce système, la vapeur surchauffée circule dans un faisceau tubulaire placé à l'intérieur du ballon de la chaudière, et successivement, sans pompes, en cycle fermé, du réchauffeur au surchauffeur ; puis, vers le faisceau de chauffage produisant la vaporisation dans le ballon et enfin par un réchauffeur d'eau d'alimentation. La vapeur à haute pression est surchauffée dans un faisceau tubulaire indépendant. Ce système diffère du générateur Löffler par l'absence de la complication qui résulte de l'installation d'un compresseur de vapeur.

Cycle de Benson. — Les essais faits par Benson pour l'obtention de l'extrême limite d'augmentation de la pression de la vapeur d'eau, c'est-à-dire pour l'obtention de la pression critique (224,4 kg/cm²), ont été

Digitized by Google

réalisés d'abord en laboratoire à Rugby en Angleterre. Les résultats encourageants de cette première installation décidèrent la firme Siemens Schuckert à construire des générateurs « Benson » en vue d'une exploitation industrielle.

L'idée fondamentale était de transformer une vieille chaudière à tubes d'eau en générateur Benson. On éleva les tubes d'eau de l'ancienne chaudière en glissant sous ceux-ci un faisceau horizontal constituant la partie à haute pression, l'ancienne chaudière étant utilisée comme économiseur.

Le cycle initial de Benson fut quelque peu modifié :

La vaporisation s'effectue à la pression critique. Au point critique, le volume croît à tel point que l'eau se transforme en vapeur sans absorber de chaleur de vaporisation. La vapeur, surchauffée à 400° C, est détendue à 100 atmosphères, soit par laminage, soit par chute de pression continue dans un surchauffeur. Dans la turbine, elle se détend de 100 atmosphères et 400° C à 12 atmosphères pour être surchauffée ensuite jusque 320° C dans un surchauffeur intermédiaire. Une dernière détente a lieu dans une turbine d'aval jusqu'à la pression absolue du condenseur.

La turbine est du type Zoelly construite par Escher Wyss ; elle tourne à 10000 t/mn et développe une puissance de 800 kW. La consommation auxiliaire nécessitée par les pompes atteint environ 3 à 4 pour cent.

A la câblerie de Siemensstadt, on monte actuellement un générateur Benson dont la forme rappelle celle d'une bouteille des dimensions d'un Cowper. Le générateur fonctionnera au charbon pulvérisé et pourra produire 30000 kg de vapeur à l'heure. La chambre de combustion est cylindrique et tapissée d'un rideau de tubes formant écran d'eau, ces tubes sont recourbés à leurs extrémités inférieures et supérieures. Les gaz traversent l'espace annulaire dans lequel sont aménagés les différents surchauffeurs et réchauffeurs d'air. La vaporisation prévue est de l'ordre de 100 kg/m².

Le rendement thermique du cycle de Benson, avec réchauffage d'eau d'alimentation par prélèvement de vapeur aux turbines, pourra atteindre 33 pour cent en comptant respectivement sur un rendement de 90 pour cent pour le générateur, 80 pour cent pour la turbine d'aval et 70 pour cent pour la turbine haute pression d'amont.

La consommation de vapeur serait alors environ de 3,3 kg/kWh et la consommation par kWh atteindrait 3000 calories.

Ces tentatives tiennent du domaine de l'expérience et ne sont pas de pratique courante.

Digitized by Google

2° *Installations de centrales électriques à haute pression et haute surchauffe (pressions supérieures à 50 atm).*

« The Edison Electric Illuminating Company » de Boston, a construit une centrale à Weymouth, baptisée récemment « Edgar Station ».

Une chaudière à 84 kg/cm² à tubes d'eau de 50 mm de diamètre et 4,5 m de longueur, dont le collecteur de vapeur a un diamètre de 1 220 mm et une épaisseur de parois de 102 mm, alimente à 71 kg/cm² et 370° C une turbine de 3 000 kW. La contre-pression de celle-ci est de 26 kg/cm². Le corps cylindrique de cette chaudière a été obtenu par forgeage à la presse d'un lingot d'acier laminé. C'est un mode de construction coûteux, qui élève sensiblement le prix de revient de l'appareil. La vapeur est réchauffée dans un surchauffeur intermédiaire, placé dans la même chaudière, à la température initiale de 370° C et alimente la turbine basse pression dont la puissance est de 30 000 kW.

L'eau d'alimentation, chauffée à 105° C dans un économiseur, est désaérée. Cette installation transforme 25,1 pour cent de la chaleur totale en énergie électrique. Ceci correspondrait à une consommation de 3 430 cal/kWh ou approximativement à 0,430 kg de charbon.

La station de Weymouth marche d'une façon satisfaisante.

Une installation semblable est en ce moment en construction à Lakeside Milwaukee (Wisconsin).

L'installation de Weymouth a fait l'objet de nombreuses descriptions, elle semble avoir la même origine que l'installation de Langerbrugge, dont les caractéristiques premières étaient identiques. Ici, la pression a été réduite, mais la surchauffe a été élevée afin d'éviter le surchauffeur indépendant.

L'installation à haute pression de la Centrale de Langerbrugge a été imposée à l'emplacement exact de l'installation primitive à 14,5 kg/cm² de pression, sans le moindre travail de démolition.

Trois chaudières et deux turbo-alternateurs de 2 000 kW, ont été remplacés par trois chaudières haute pression et un groupe turbo-alternateur de 1 750 kW ainsi qu'un groupe normal de 6 600 kW à la pression de 20 kg/cm². Cette installation comporte :

Trois chaudières Babcock et Wilcox ayant pour caractéristiques :

Digitized by Google

Timbre en kilogrammes par centimètre carré : 56
Surface de chauffe en mètres carrés :
— chaudière : 440
— surchauffeur : 119
— réchauffeur d'air : 445
Surface de grille en mètres carré : 9,1
Température de la vapeur surchauffée en degrés centigrades : 450
Vaporisation en kilogrammes par heure : 12000

Ces chaudières n'ont pas d'économiseurs. L'eau d'alimentation est chauffée à 196° C dans trois réchauffeurs à prélèvement de vapeur, placés en série au refoulement de la pompe d'alimentation. Le ballon de la chaudière est en tôles rivées de 38 mm d'épaisseur ; il a 1 065 m de diamètre et 4,43 m de longueur. Le surchauffeur comporte 126 tubes d'acier sans soudure, courbés en V, de 25-38 mm, mandrinés à leurs extrémités à des boîtes cylindriques en acier forgé placées en dehors de la chambre de combustion. Le surchauffeur est placé immédiatement au-dessus des tubes de coup de feu, en contact direct avec les gaz chauds, sans l'interposition d'aucune chicane. Les tubes sont facilement interchangeables.

Chaque chaudière est placée sous le contrôle d'une soupape double de sûreté à ressorts « Cockburn et Mac Nicoll » placée sur le ballon, et d'une soupape simple placée sur la sortie du surchauffeur.

L'air, chauffé à 200° C, est amené entre les deux brins de la grille dans cinq compartiments en fonte à registres permettant de régler la combustion.

La grille est à mouvement épicyclique et présente huit vitesses de marche.

L'alimentation en eau de la chaudière se fait automatiquement par l'appareil « Copes ».

La turbine d'amont Brown Boveri est compoundée avec une turbine d'aval du type habituel construit par B.B.C.

Caractéristiques des turbines d'amont et d'aval :

	Turbine d'amont :	Turbine d'aval :
Puissance en kilowatts	1 750	6 600
Nombre de tours par minute	8 000/1 500	3 000
Pression de la vapeur à la vanne d'admission en kilogrammes par centimètre carré	50	20
Température en degrés centigrades. . .	442	325
Contre-pression en kilogrammes par centimètre carré.	20	

Digitized by Google

La turbine comporte deux corps en acier coulé, dans chacun desquels tournent deux roues d'action ayant 37 cm de diamètre moyen. Les arbres flexibles tournent à 8000 t/mn, vitesse angulaire réduite à 1500 t/mn par un engrenage réducteur. L'injection est totale, ce qui présente l'avantage de supprimer une cause de production de vibrations. Les ailettages, le disque et la garniture des chambres sont en acier spécial.

La tuyauterie est en acier, elle a été coudée à la presse hydraulique. Les brides sont vissées, mandrinées, soudées et boulonnées par des boulons spéciaux mis à serrage précis pendant le montage.

Le système de réchauffage de l'eau d'alimentation comporte trois réchauffeurs à vapeur : le premier reçoit de la vapeur d'échappement provenant des boîtes d'étanchéité de la turbine haute pression et la vapeur d'échappement de la turbine actionnant la pompe d'alimentation (pression 67 kg/cm², débit 50 m³/h).

Le deuxième réchauffeur reçoit de la vapeur à 5 kg/cm² soutirée de la chambre d'action de la turbine à basse pression, et le troisième reçoit de la vapeur à 20 kg/cm² provenant de l'échappement de la turbine d'amont.

L'eau de condensation des réchauffeurs I, II, III est introduite dans le cycle par une pompe auxiliaire, de sorte que les calories qu'elle contient sont récupérées.

Le rendement garanti de l'installation des turbines d'amont et d'aval est de 28 pour cent, il fut dépassé de 1/2 pour cent lors des essais en février 1926.

Le rendement industriel journalier, déduit du poids de charbon consommé par kilowatt-heure, varie de 19 à 23 pour cent.

La consommation industrielle de charbon varie de 0,540 à 0,650 kg/kWh ce qui correspond donc à 3800 à 4500 cal/kWh, le pouvoir calorifique du charbon étant de 7000 calories.

L'application récente de la haute pression aux installations de la Cie de Bradford, prouve que l'idée d'augmenter le rendement des centrales thermiques par ce moyen se généralise, et qu'après le succès de Langerbrugge, la confiance l'emporte sur la routine.

On prépare actuellement, à cette importante centrale, l'installation d'une turbine d'amont à haute pression, de 2500 kW, alimentée par une chaudière produisant 36000 kg de vapeur à l'heure à la pression de 77 kg/cm² et à 527° C de surchauffe. Cette turbine comporte également deux corps, mais diffère de celle installée à Langerbrugge, par

Digitized by Google

le fait que les roues ne sont pas en porte à faux. Les arbres tournent à la vitesse de 6000 t/mn. réduite à 1000 t/mn par un engrenage réducteur.

La vapeur d'échappement, sortant de la turbine d'amont à 16,3 kg/cm² et 272° C, va au collecteur général de vapeur à basse pression qui alimente les turbines d'aval et se mélange à la vapeur fournie par les chaudières à basse pression à 14 kg/cm² et à 372° C.

La vapeur d'échappement de la turbine d'amont est donc réchauffée par mélange à la vapeur provenant des chaudières à basse pression.

A Langerrugge, après un an de service de la turbine à haute pression, l'étude de l'application du cycle à haute pression et à réchauffage fut envisagée pour toute la Centrale.

La nouvelle installation comportera trois chaudières à foyers mécaniques, produisant chacune 45000 kg de vapeur à l'heure à la pression de 56 kg/cm² et à 450° C. Une turbine d'amont à haute pression de 6600 kW, à un corps, à 3000 tours par minute, alimentera en pleine charge trois turbines d'aval existantes, de 6600 kW chacune. La pression de la vapeur à l'admission de la turbine d'amont sera de 50 atmosphères effectives et la température de la vapeur surchauffée de 442° C; la contre-pression sera de 21,5 atmosphères absolues. La vapeur d'échappement des boîtes étanches à labyrinthes sera utilisée pour le chauffage de l'eau d'alimentation. Celle-ci sera chauffée à 190° C en trois étages dans des réchauffeurs recevant de la vapeur d'échappement de la turbine d'amont.

Le rendement de cette installation atteindra, comme pour celle en marche depuis près d'un an et demi, le chiffre de 28,5 pour cent.

Signalons, comme particularité de ce système que, pour les charges partielles, les turbines d'aval fermeront leurs soupapes successivement de telle manière que si la charge totale, par exemple, est réduite aux 2/3, l'une des trois turbines d'aval soit complètement arrêtée.

Lorsque cette installation sera réalisée, la Centrale de Langerbrugge sera une centrale à haute pression dont le rendement thermique industriel (déduit du poids de charbon consommé par kilowattheure) sera de l'ordre de 22 à 23 pour cent.

B. — Comment produire gratuitement le kWh de 3 000 calories ?

Ce sont les producteurs eux-mêmes, disposant du matériel économique de production et d'utilisation de la vapeur, qui vont, pour

Digitized by Google

cela, devoir ajouter au rendement thermodynamique des machines, le rendement thermique des cycles et de leurs éléments en jeu : l'eau, l'air et le charbon.

1° Cycle de l'eau d'alimentation.

L'épuration de l'eau d'alimentation par des procédés chimiques a fait place à la distillation. L'emploi de l'eau distillée, avide de l'oxygène de l'air, a fait naître les désaérateurs chimiques et thermiques; ces appareils entrèrent dans le circuit de l'eau d'alimentation. Mais c'est le cycle fermé qui répond le mieux aux exigences de la loi d'asepsie de l'eau d'alimentation. L'eau d'alimentation chimiquement pure, contrôlée par un détecteur de corrosion, est introduite au condenseur à titre d'eau d'ajoute et ainsi désaérée au titre de 0,01 cm^3 d'oxygène par litre, elle entre dans le cycle fermé de l'eau d'alimentation, passant du condenseur à la pompe d'eau condensée et traversant directement, sans bâche intercalaire, la pompe d'alimentation, la tuyauterie, l'alimentateur automatique, arrivant enfin à la chaudière.

L'eau d'ajoute est également distillée et introduite au condenseur pour y être désaérée.

Cette eau d'ajoute doit être réduite au minimum, excluant ainsi toute perte de vapeur par les purgeurs, les soupapes de sûreté; ces fuites de vapeur sont recueillies, condensées et réintroduites dans le cycle fermé de l'eau d'alimentation et de la vapeur condensée.

Cette forme d'alimentation donne le minimum de frais d'entretien et de renouvellement du matériel, mais surtout maintient en état de propreté les tubes, assurant ainsi la vaporisation maximum et régulière.

Les procédés chimiques et physiques d'augmentation de vaporisation n'ont guère été mis en valeur.

Le réchauffage de l'eau d'alimentation constitue le facteur d'économie le plus important.

Le cycle de l'installation à haute pression réalisé à la Centrale de Langerbrugge est un cycle à réchauffage d'eau d'alimentation par soutirage de vapeur. Au lieu de laisser toute la vapeur se détendre dans la turbine jusqu'au condenseur, on utilise la chaleur de la vapeur de soutirage à réchauffer l'eau d'alimentation des chaudières. L'économie résulte du fait que la chaleur de vaporisation de la vapeur dérivée qui a déjà fourni du travail, est cédée à l'eau d'alimentation et

Digitized by Google

reste ainsi acquise au cycle au lieu d'être perdue dans l'eau de circulation des condenseurs. De plus, la chaleur de l'eau de condensation provenant de la vapeur de chauffage, est restituée au cycle, de sorte qu'on récupère les calories qu'elle contient. Ce procédé de régénération a déjà été préconisé par l'Américain STANWOOD vers 1890 et fut développé par BELLUZO et FERRANTI.

Les chiffres caractéristiques des réchauffeurs d'eau sont les suivants :

	Pression de la vapeur de chauffage en Kg/cm²	Température de l'eau en degrés centigrades entrée	sortie
	—	—	—
Réchauffeur I....	0,6	32	73
Réchauffeur II.. .	5,0	73	139
Réchauffeur III...	20,0	139	196

Le rendement du cycle est, tous calculs faits, de 42 pour cent.

Le cycle à réchauffage d'eau d'alimentation par soutirage de vapeur est donc à haut rendement. Sa comparaison avec celui de Rankine donne:

$$\frac{0,42 - 0,39}{0,39} = \frac{0,03}{0,39} = 7,7.$$

Le gain assuré par le réchauffeur sans perte, comportant une infinité d'étages, serait de 10 pour cent environ.

La quantité disponible d'eau d'alimentation, qui limite l'ordre de grandeur de la centrale, limite également le vide au condenseur.

La température de l'eau de condensation est peut-être le facteur sur lequel on peut encore le plus efficacement agir pour réduire la consommation de vapeur des turbines. Le gain moyen de 1 pour cent par degré de réfrigération entre 15 et 25 degrés, mérite d'être pris en considération. L'emploi de liquides réfrigérants en cycle fermé, ou le mélange, à l'eau de circulation, de produits réfrigérants aisément récupérables, sera vraisemblablement le prochain perfectionnement en centrales modernes, dans ce domaine.

L'attention vient d'être attirée par le récent mémoire, quelque peu sensationnel, de MM. CLAUDE et BOUCHEROT sur l'utilisation industrielle de la température de l'eau des mers.

Les caractéristiques de leur dispositif se retrouvent dans toute installation de condensation, où règnent, avec le vide, des températures de l'ordre de 5 et 25° C. L'utilisation de la différence de température de l'eau

Digitized by Google

de circulation au condenseur d'une turbine de 6 600 kW à 20 kg cm² conduit à pouvoir disposer d'une puissance de l'ordre de 400 kW. Nous avons posé le problème de la construction d'une turbine utilisant la vapeur produite par l'utilisation de ces faibles différences de température.

Après avoir relevé l'isotherme supérieur par le cycle d'une turbine d'amont à hyperpression et d'une turbine d'aval à pression normale, l'abaissement de l'isotherme inférieur par cette nouvelle turbine à micro-pression utilisant la faible différence de température au condenseur, permet d'envisager une deuxième augmentation du rendement thermique, conduisant à une nouvelle économie de l'ordre de 6 pour cent.

II. — CYCLE DE L'AIR.

Autrefois l'air extérieur, filtré, utilisé pour le refroidissement de l'alternateur, parcourait des canaux réservés dans la carcasse, et sortait chaud dans la salle, à l'extérieur, ou plus rarement, était ramené sous la grille de la chaudière.

Actuellement aspiré, en quantités importantes, par un ventilateur indépendant de l'arbre de l'alternateur, il se refroidit dans des réfrigérants par surface, opérant la réfrigération en cycle fermé et maintenant ainsi l'alternateur dans un parfait état de propreté. Dans ce cas l'eau condensée est suffisamment froide pour être utilisée au refroidissement de cet air, et récupère les pertes thermiques de l'alternateur. Tout récemment, l'hydrogène sous pression, en cycle fermé, fut avantageusement substitué à l'air. L'air sert également pour l'absorption des calories des produits de la combustion dans le réchauffeur d'air. Il est ensuite insufflé sous la grille, activant et améliorant la combustion.

Le réchauffe-air se substitue, avec une sérieuse augmentation de rendement de la chaudière, à l'économiseur ou réchauffeur d'eau, dont le rôle sera mieux rempli par les soutirages de vapeur ; il existe également des réchauffages de l'air de combustion par prise de vapeur. Le cycle de l'air est donc un cycle nouveau, qui s'imposera dans les centrales modernes.

L'utilisation des gaz et de la fumée sortant des cheminées des usines a été suggérée, il y a cinquante ans, par CAILLETET. Il a trouvé qu'en ralentissant la vitesse de ces gaz, chargés de principes combustibles, on pouvait les brûler facilement et utiliser la chaleur ainsi produite. Nous avons prévu l'utilisation des fumées au chauffage des fours de carbonisation à basse température.

Digitized by Google

III. — Cycle du charbon.

Le charbon est la matière première de la centrale, qui doit se transformer économiquement en énergie électrique.

Jusqu'à ces derniers temps le charbon, manipulé à la brouette, jeté à la pelle sur le foyer, achevait de se consumer sur les terrils de cendres voisins de la chaufferie. Plus tard, la manipulation mécanique, l'entreposage en silos, la pesée et la grille automatique, et enfin l'enlèvement mécanique des cendres, n'augmentèrent guère le rendement de la transformation de cette matière première traitée en combustible pauvre, et ces moyens mécaniques n'ont guère amélioré les méthodes de sauvages en vigueur jusqu'en ces derniers temps.

Il a fallu que le prix de cette matière première atteignit le coefficient 12 alors que les prix de vente normaux de l'éclairage électrique ne dépassent pas le multiple 3, pour attacher une valeur, non seulement au charbon, mais surtout à ses sous-produits.

Le charbon, sous sa forme solide naturelle, brûle en morceaux informes sur la grille fixe, il se morcelle et brûle ses poussiers sur la grille mobile à chaîne ou à barreaux inclinés avec le concours de vent soufflé; par son passage dans des broyeurs indépendants ou en centrale de broyage, il se divise davantage et brûle en pulvérisé, sans le concours de grille, dans des chambres de combustion qui s'élargissent pour tendre vers la combustion d'un charbon fluide, que l'air insufflé brûle presque comme un gaz.

A l'état liquide et tout au moins à titre de secours en centrale terrestre, le charbon colloïdal, dont nous avons pu réaliser industriellement une suspension de 50 pour cent dans 50 pour cent de mazout, sert déjà, tout au moins dans des brûleurs à mazout existants, comme réserve pour la grille mécanique.

Si les premières tentatives de gazéification du charbon à la centrale n'ont pas été poursuivies, c'est vraisemblablement que les sous-produits de la distillation n'avaient, à cette époque, ni emploi, ni valeur.

Aussi, le foyer à gaz ne se rencontre plus guère que sous une unité d'une batterie de chaudières dans les centrales de fours à coke et c'est un sous-produit peu considéré, qui brûle à l'air ou échauffe les cheminées.

Mais bientôt la distillation à basse température se justifiera dans toute centrale moderne, car elle n'entraîne qu'une augmentation faible de la consommation totale de charbon pour la même production de kWh.

Digitized by Google

Une tonne de charbon, distillée entre 400° et 500° C dans un avant foyer de chaudière, donne trois sous-produits :

1° 700 kg de semi-coke incandescent, brûlant immédiatement sur la grille normale, cette coalite ayant encore 18 pour cent de matières volatiles, si on part d'un charbon à gaz.

2° 100 mètres cubes de gaz à 7 500 calories dont une moitié assure la température nécessaire à la distillation, l'autre moitié brûlant sous la chaudière.

On peut également utiliser les gaz à d'autres emplois, comme la soudure des métaux, ou encore les mélanger à des gaz de houille ou à du gaz à l'eau pour augmenter leur pouvoir calorifique.

L'essence contenue dans le gaz peut être récupérée sans difficultés par le lavage du gaz, soit à la tétraline, soit à l'huile de paraffine extraite du goudron primaire, soit par le procédé de précipitation électrique. Les rendements varient, suivant les charbons, de 5 à 15 litres d'essence par tonne distillée.

3° 100 litres environ de goudrons primaires, composés d'hydrocarbures de la série grasse, dont la récupération est précieuse, et de phénols à chaîne complexe dont l'élimination, assez peu aisée d'ailleurs, est obligatoire. Ils donnent par distillation fractionnée : des huiles légères ; des huiles solaires ; du fuel oil ; de la paraffine ; du brai.

Ces produits de la distillation peuvent être brûlés dans la chaudière à meilleur prix que du mazout, mais leur vente permet une récupération de l'ordre de 30 à 40 pour cent du coût de la tonne de charbon traitée.

Sauf le fuel oil et le brai, chacun de ces fractionnements peut subir une opération chimique, et l'on obtient finalement par ordre de densité croissante : des essences légères ; des huiles lampantes ; des huiles acides contenant des phénols ; du fuel oil ; des huiles de graissage ; de la paraffine blanche ; du brai.

L'étude semi-industrielle de ces opérations est suffisamment avancée pour permettre d'affirmer que l'on pourra, sans aléa, monter industriellement la distillation des goudrons primaires. Aux prix actuels, en comptant pour zéro les huiles acides contenant les phénols complexes dont l'utilisation reste à trouver, un goudron primaire normal se valoriserait net, frais de traitement et d'amortissement déduits, à plus de 500 fr la tonne.

Enfin, les procédés du cracking du goudron à basse température peuvent aujourd'hui garantir des résultats industriels d'un rendement

Digitized by Google

économique bien supérieur encore à ceux ci-dessus. Une des plus grandes sources de gazoline pour l'automotion, sera à l'avenir le cracking des goudrons dérivés de la carbonisation à basse température du charbon.

Le rendement final du combustible pour moteur obtenu par le cracking des goudrons de carbonisation à basse température serait de l'ordre de 30 pour cent.

Au sujet de ce problème, TUPHOLME dit en Angleterre :

« Il faut reconnaître, dès à présent, que les espoirs d'approvisionnement intérieur du pays en essence d'auto et en huile combustible, reposent sur la carbonisation à basse température du charbon. »

Sans nous préoccuper, au début, outre mesure, de la mise en valeur des gaz et sous-produits de la distillation, nous avons approché le problème d'un point de vue bien particulier, en nous limitant à la seule question d'utilisation meilleure des calories du charbon d'alimentation des chaudières. Après avoir procédé à une série d'essais de laboratoire, nous croyons qu'au lieu d'alimenter les grilles de nos chaudières avec du charbon cru, il y aurait intérêt à les alimenter avec du semi-coke incandescent obtenu par carbonisation préalable de ce charbon.

Si l'on compare le bilan calorifique d'une chaudière alimentée au charbon cru avec une autre équipée d'un four de carbonisation l'alimentant en coke incandescent, on trouve une justification de l'installation d'une cornue de carbonisation. En effet, si l'on soumet à la carbonisation un charbon habituel très gras (34 pour cent de matières volatiles) renfermant 12 pour cent d'humidité et 11 pour cent de cendres et dont le pouvoir calorifique (supérieur) est de 6 800 cal/kg, un tel charbon abandonnera en centièmes :

12	d'humidité ;
5	d'eau de constitution ;
6	de goudron primaire ;
5	de gaz ;
28	

laissant par conséquent 72 pour cent de semi-coke tenant encore environ 18 pour cent de matières volatiles.

Un tel semi-coke a 14,6 pour cent de cendres, mais il est absolument sec, son pouvoir calorifique donne 7 300 cal/kg.

Au point de vue des calories utiles, il faudrait comparer, dans les deux cas, le pouvoir calorifique inférieur, c'est-à-dire, eau non conden-

Digitized by Google

sée, mais pour le semi-coke absolument sec, il reste 7 300 cal/kg alors que pour le charbon de départ, il est ramené à 6 000 calories.

Si donc, au lieu de brûler directement le charbon sur la grille, on le carbonise d'abord dans les conditions indiquées, au lieu de disposer de 6 800 calories de charbon cru, on ne disposera plus que de

$$7\,300 \times 0{,}72 = 5\,250 \text{ calories}$$

Mais, à ce moment, interviennent les divers facteurs qui permettent d'obtenir, à calories égales et avec la même grille, un meilleur rendement de la chaudière, lorsque l'on brûle du semi-coke au lieu de charbon cru dont le semi-coke est issu. L'expérience seule permet de connaître exactement le bénéfice obtenu de ce chef ; il est néanmoins intéressant d'énumérer les différents facteurs qui interviennent.

1° Le semi coke arrive sur la grille vers 450° C ; par rapport au charbon, on économise donc la chaleur d'échauffement de 20° à 450° C.

2° Le semi-coke arrive sur la grille au voisinage de son point d'inflammation, le régime de combustion sur la grille se trouve donc établi beaucoup plus vite qu'avec du charbon.

3° Dans le cas du charbon, la combustion est précédée d'une distillation ou carbonisation qui demande un certain temps et qui retarde l'établissement du régime de combustion proprement dit.

4° La carbonisation de la houille crue sur la grille même, entraîne des imbrûlés dans les gaz qui s'échappent par la cheminée ; ce danger est moins à craindre avec du semi-coke.

5° Avec du semi-coke, une combustion parfaite peut être obtenue avec un excès d'air moindre qu'avec du charbon brut.

6° La porosité propre du semi-coke, jointe à la présence d'une certaine proportion de matières volatiles gazeuses, en font une matière particulièrement apte à la combustion rapide ; cette aisance a été appelée du terme vague de bonne combustibilité.

7° Avec des fines agglutinantes, l'agglomération des particules de charbon se produit dans de meilleures conditions lorsque l'on traite séparément le charbon, d'abord, dans un four de carbonisation ; on risque donc moins d'avoir des imbrûlés dans les cendres.

L'ensemble de ces facteurs donnera un bénéfice de l'ordre de 11 pour cent en faveur du semi-coke et, au point de vue calorifique, on obtient les mêmes résultats avec 700 kg de semi-coke qu'avec une tonne de charbon brut dans le cas examiné.

Digitized by Google

Partant de toutes ces considérations, nous avons, à titre d'essai, équipé une de nos chaudières de deux fours continus de carbonisation à basse température, d'une production d'environ 60 tonnes par jour, réalisant ainsi la première application industrielle de la prédistillation à la production de l'électricité en centrale.

Notre installation est du type « Salerni ».

Le charbon, fines flambantes 0/10, est déversé de la trémie dans un séchoir à plateaux, grâce à un dispositif faisant partie de la trémie : il y chemine en couches minces (2 à 5 mm) soumises à un brassage plus ou moins intense et en sens inverse des gaz brûlés sortant des carneaux de chauffage du four de carbonisation et arrive à l'état sec dans la cornue proprement dite, après avoir traversé un dispositif d'étanchéité.

L'étanchéité entre le séchoir et la cornue permet d'éliminer séparément la vapeur d'eau et les gaz peu combustibles formés au début du traitement et d'empêcher leur mélange avec les vapeurs huileuses et le gaz combustible riche.

Dans la cornue proprement dite, un dispositif mécanique multiple assure un brassage très actif de la matière en traitement, son passage d'un élément en forme d'auget au suivant, enfin le râclage des parois métalliques chauffées.

Le résidu solide, ou semi-coke débarrassé de ses huiles, sort de l'enceinte de carbonisation par un joint d'étanchéité analogue au précédent et tombe incandescent sur la grille mécanique de la chaudière.

Voici quelques chiffres sur les caractéristiques du charbon et du goudron primaire habituel.

Houille employée :

Qualité : Duff-Cramlington.
Calibrage : 0,10 mm.

Composition en centièmes :

Matières volatiles	34 (double creuset).
Humidité	12
Cendres.	11
Carbone fixe.	43
Pouvoir calorifique.	6,800 cal/kg (supérieur).
Pouvoir agglutinant	9 (Meurice).
Température de carbonisation . .	400-500° C (moyenne 435° C).

Par carbonisation à basse température, ce charbon abandonne :

Digitized by Google

Humidité	12
Eau de constitution	5
Goudron primaire	6
Gaz	5
Semi-coke	72
	100

Composition du semi-coke :

Matières volatiles	16
Carbone fixe	69,4
Cendres	14,6
Pouvoir calorifique	7,300 cal/kg.

Composition des gaz :

Acide carbonique	3,2
Carbures non saturés	2,6
Oxygène	0,3
Oxyde de carbone	2,6
Hydrogène	20,0
Méthane	62,00
Ethane	3 8
Azote	1,1
Pouvoir calorifique supérieur	8 400 cal.
Pouvoir calorifique inférieur	7 850 cal.
Poids du m^3	0,715 kg.

Fractionnement du goudron primaire :

	Poids spécifique	Proportions en volume en centièmes du goudron décanté
	—	—
Huile légère 0°-170°	0,830	10
Eau non décantée	»	1
Huile moyenne 170°-230°	0,930	21
Huile lourde 230°-270°	0,955	18
Huile d'anthracène 270°-350°	1,03	31
Brai mou	»	19
		100

La proportion des phénols est de 13 pour cent dans les huiles légères, 15 pour cent dans les huiles moyennes et 24 pour cent dans les huiles lourdes. Le brai nous a donné à l'analyse :

Point de fusion	35° C
Matières volatiles	89,2.
Cendres	0,06.

Digitized by Google

2° fractionnement du goudron à basse température :

	Centièmes du goudron total
De 35° à 120° C densité 0,774.	2,5
pouvoir calorifique 9 800 calories.	
De 120° à 170° C densité 0,842.	6,5
pouvoir calorifique 9 600 calories.	
De 170° à 190° C densité 0,873.	3,5
pouvoir calorifique 9 450 calories.	
De 190° à 210° C densité 0,900.	2,0
pouvoir calorifique 9 000 calories.	
De 210° à 230° C densité 0,920.	3,5
pouvoir calorifique 8 750 calories.	
De 230° à 250° C densité 0,934.	13,0
pouvoir calorifique 9 000 calories.	
De 250° à 290° C densité 0,948.	9,0
pouvoir calorifique 9 100 calories.	
De 290° et au delà densité 0,995	60,0
pouvoir calorifique 8 900 calories.	

L'installation d'une usine de récupération et de traitement de 5 T/jour, a été étudiée de la façon suivante :

a) Lavage des gaz s'ils proviennent de la distillation des goudrons primaires.

b) Désessenciement de l'huile de lavage.

c) Distillation et rectification par voie chimique (acide et soude) des huiles légères, en vue de l'obtention de produits de qualité égale à celle des benzols et des essences de pétrole, pouvant être mélangées à des essences pour moteur d'automobiles.

Atelier de fabrication d'essence épurée et rectifiée.

Données de bases :

Essences brutes rectifiées provenant des goudrons primaires

456 litres par jour.

Essences légères brutes provenant des gaz

570 litres par jour.

Total des essences à épurer et à rectifier

1,052 litres par jour.

Quantité d'essences épurées et rectifiées obtenues

770 litres par jour soit 281 m³ par an.

Total des dépenses 350 000 francs,

Digitized by Google

Recettes annuelles :

281 m³ d'essence à 220 fr. = 620 000.

Bénéfices nets annuels :

620 000 — 350 000 = 270 000.

Une installation de cracking procédé « Dubbs » a été également étudiée, une installation de laboratoire est en montage. Le procédé est très simple, l'huile à cracker entre dans une tubulure de chauffe située dans un four et passe dans une chambre de réaction où tout le coke produit se dépose. Cette chambre, construite par soudure autogène et forgée, est entièrement sans rivets. Le résidu produit est enlevé d'une façon continue de la chambre de réaction, les vapeurs passent dans un déphlegmateur où les fractions lourdes sont condensées et d'où elles retourne dans la tubulure ou zone de chauffe, tandis que les fractions légères quittent le déphlegmateur par le haut. Elles passent ensuite dans le condenseur et le liquide condensé est amené dans un récipient de réception, d'où il est soutiré d'une manière continue dans les réservoirs.

Trois produits différents de la carbonisation à basse température ont été soumis au cracking, suivant le procédé « Dubbs ». Un goudron déshydraté, une huile neutre, et le produit direct d'une distillation. Le résultat obtenu par le cracking de ces goudrons à basse température est très encourageant au point de vue de la production d'un combustible pour auto. De plus, il est reconnu que la proportion de 18 pour cent de combustible pour auto obtenu du goudron à basse température ou de ses distillats, soumis à l'action de la chaleur et à la distillation sous pression, peut être encore augmentée.

Et voilà certes un sous-produit qui vaut mieux que les cendres dont la centrale se débarrasse difficilement, quand elle n'en fabrique pas des briques. Des essais sur grilles mécaniques et surtout en pulvérisé, ont été faits pour obtenir, par l'adjonction des ingrédients nécessaires (argile, chaux et autres), une cendre qui, broyée, donne un ciment ou un laitier ou encore, mélangée en proportion convenable de castine et traitée au cubilot à haute température, donne un verre basique et en fonte, environ deux pour cent du poids des machefers traités.

Et j'en conclus la loi du cycle économique du charbon en centrale moderne :

Le charbon sera manipulé comme un fluide, aspiré au bateau ou au parc à charbon, distillé à basse température, brûlé, partie sous forme

Digitized by Google

de semi-coke incandescent ou mieux peut être de coke pulvérisé, partie en gaz, après avoir abandonné deux sous-produits de valeur : des goudrons transformés en essence et huiles, des cendres transformées en ciment, en verre et en fonte.

IV. — Industries nouvelles alimentées par une centrale thermique.

Sans envisager l'utilisation des vapeurs d'échappement au chauffage central des villes (réalisation pleine de succès, paraît-il) ou encore l'emploi d'accumulateurs de vapeur, je veux parler de l'action créatrice d'industries nouvelles de la centrale thermique.

L'emploi de la vapeur à haute pression est particulièrement économique pour des turbines à charge constante qui doivent fournir la puissance de base de la centrale, les pointes étant couvertes par les turbines basse-pression.

A Langerbrugge, cette adaptation nouvelle permet la marche comme usine « volant » d'un four à carbure de calcium de 3 750 kW, en service depuis le mois de juillet, et la mise en marche prochaine d'une usine d'électrolyse des chlorures alcalins et d'un four électrique de fusion des machefers pour la production de verres basiques suivant le procédé « Bigot ».

L'amélioration du coefficient de diversité grâce à ces usines « volants » de la centrale, conduit à une appréciable économie du fait de la marche régulière à l'allure la plus économique des unités en service.

La centrale, créée autrefois pour répondre aux besoins de luminaire des centres agglomérés, a bientôt assuré la production de la force motrice privée dans les régions indusrielles, demain elle créera des industries nouvelles.

Avant de conclure, afin d'éviter la polémique que la presse quotidienne ou celle des syndicats de consommateurs pourrait susciter au seul titre de cet exposé, permettez moi de faire une déclaration en faveur de l'augmentation des tarifs de l'éclairage électrique.

Le kWh, produit avant-guerre avec 1 kg de charbon, coûtait, rendu au compteur de l'abonné, la contrevaleur de 15 à 20 kg de charbon, pour tenir compte des frais d'exploitation, d'entretien et d'amortissement des capitaux engagés dans la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique.

Le kWh se vendait la contrevaleur de 20 et 25 kg de charbon à 20 fr or, soit environ 0,40 à 0,50 fr le kWh.

Si la production actuelle peut permettre d'envisager de réduire la

Digitized by Google

consommation de charbon par kWh à 500 gr, c'est le résultat d'une contrainte légale injuste au même titre que la loi sur les loyers ; c'est une des causes du désordre social actuel, né des injustices économiques d'après guerre.

Un ajustement des prix de vente de l'énergie électrique doit répondre à l'effort considérable que les producteurs ont réalisé, dans l'abaissement du prix de revient de production.

Cette économie dans la génération de l'énergie électrique obtenue, non pas en application des lois négatives de réduction en milieux incompressibles, mais grâce à des formules d'augmentation de rendement de tous les cycles en jeu ; bref, grâce aux tendances modernes en centrales électriques, ce premier retour aux prix d'avant guerre obtenu pour le prix de revient du kWh/charbon avec une même matière grevée du taux de l'index nombre, est un symbole de la solution possible du problème industriel, économique et social du temps présent.

BILAN OR DE LA PRODUCTION D'UN kWh de 3 000 CALORIES PAR CARBONISATION A BASSE TEMPÉRATURE.

	Centimes-Or
500 grammes de charbon (100 fr. français la tonne) . .	1,00
350 grammes de semi-coke	»
50 litres de gaz donnant par désessenciement :	
4 centilitres d'essence	0,20
400 calories	0,10 à 0,50
40 cm³ de goudron :	
8 centilitres d'essence	0.40
70 pour cent d'huile, soit :	
28 cm³ à 70 fr. les 100 kg	0,40
6 cm³ de brai	0,05
50 grammes de cendres transformées en :	
verre basique	0,10
1 gramme de fonte	0,10
	1,35 à 1,85

Tel un artiste de son argile, de ses couleurs, l'ingénieur, de la matière informe, — 500 grammes de charbon humide et cendreux distillé, transformé en semi-coke —, anime et crée un kWh de 3 000 calories.

Un kWh ? Œuvre d'art qui à son tour crée, éclaire, anime et transforme.

Digitized by Google

Comme à l'artiste qui a vendu son œuvre d'art, il reste l'esquisse et le souvenir du modèle, l'ingénieur a extrait l'esprit de la matière, il le transforme en de nouveaux animateurs de mouvement, de lumière et de vie.

Ultime plénitude de son art, plus satisfait que l'artiste, l'ingénieur transforme encore les dernières traces de la matière première et de la cendre, il fait un point brillant de fonte, un pavé, un couvre câble, un isolateur, et qui sait peut-être, un vase, des émaux d'art.

Produire gratuitement un kWh de 3 000 calories, c'est avec l'art de l'ingénieur, créer, en artiste, cette œuvre d'art.

Note communiquée par M. E. Mercier, administrateur délégué de l'Union d'électricité.

Il me paraît d'autant plus nécessaire de présenter quelques compléments à l'étude remarquable de M. Herry, que la renommée justement acquise par ses courageuses et habiles investigations, dépasse de beaucoup le cercle relativement restreint des producteurs d'énergie électrique : d'autres milieux, moins bien informés de la complexité des problèmes posés par l'amélioration du rendement des usines productrices, pourraient peut-être déduire des résultats si brillamment exposés et des espoirs si bien concrétisés par le conférencier, certaines conclusions que l'expérience pratique ne saurait de longtemps ratifier.

Pour bien poser les conditions du problème des économies de combustible — et d'argent — dans la génération thermique de l'énergie, ce qui était en somme le but de la communication, il serait en effet nécessaire de considérer tout ce qui intéresse largement les bilans thermique et financier et, en particulier, on ne saurait passer sous silence les considérations suivantes :

La consommation spécifique de combustible d'une installation déterminée varie dans des limites fort étendues suivant que les fluctuations de la charge restent modérées et prévisibles, ou, qu'au contraire, elles arrivent à être du même ordre que la charge maxima, et cela pendant de longues périodes journalières, ce qui est le cas en particulier des plus gros producteurs de la Région Parisienne (et de beaucoup d'autres). C'est ainsi qu'une installation qui consommerait environ 3 500 calories avec un bon horaire, en consomme 5 000 (et parfois beaucoup plus), lorsque la constitution de son réseau d'abonnés, la

Digitized by Google

marche en parallèle avec des usines hydrauliques, etc., lui imposent de garder sous pression un matériel puissant pour ne débiter qu'un nombre relativement réduit de kWh. L'analyse des pertes — avant même de tenir compte du côté financier — montre qu'alors l'avantage des solutions les plus parfaites au point de vue thermodynamique (hautes pressions, hautes températures, soutirages multiples, etc...) diminue de plus en plus avec l'utilisation. Si donc l'on veut bien se rappeler que, dans la plupart des installations aujourd'hui connues comme tenant les records de rendement thermique (3 100 à 3 500 calories par kWh produit), les charges financières sont du même ordre que les dépenses de combustible, on verra aïsément que le prix de revient minimum du kWh ne sera pas obtenu, dans bien des cas, en adoptant le matériel le plus perfectionné. Au contraire, des stations simplifiées et dotées d'un matériel de prix modéré — donc standard — doivent être préférées lorsque la durée d'utilisation est plutôt faible.

On peut même dire, qu'au point de vue du résultat qui nous occupe, une augmentation de cette durée d'utilisation produira des résultats beaucoup plus tangibles que tous les perfectionnements à envisager actuellement pour le matériel.

Une réserve semble également devoir être faite au sujet du bilan de la distillation à basse température. Les « valorisations » des produits ou sous-produits ne peuvent encore être chiffrées qu'avec les approximations les plus larges, même en supposant le problème de l'utilisation des goudrons réellement résolu ; par contre, le prix indiqué du charbon n'est guère que la moitié du prix actuel à Paris. Si l'on ajoute que les données sur les frais de premier établissement et d'entretien sont des plus aléatoires, on doit bien reconnaître que le bilan de l'opération reste encore assez obscur.

En résumé, j'estime que, si certains côtés du tableau ont été parfaitement mis en lumière, ce dont il convient de féliciter chaudement M. Herry, les ombres méritent bien aussi quelque considération. Un certain nombre de problèmes techniques n'ont pas encore reçu de solution vraiment satisfaisante et, de plus, les répercussions financières des améliorations déjà consacrées par des expériences récentes rendent impossible — pour le moment — leur adoption par les Centrales thermiques à utilisation faible. Il y a loin de la coupe aux lèvres, et bien des efforts seront encore dépensés avant que les réconfortantes perspectives, si heureusement évoquées par M. Herry, deviennent des réalités pour le plus grand profit de l'industrie.

Digitized by Google

L'USINE D'ÉGUZON ET L'ÉLECTRIFICATION DU RÉSEAU D'ORLÉANS [1]

par M. PARODI

Ingénieur Conseil de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans.

Au cours de la visite que nous avons faite l'année dernière avec les Ingénieurs Electriciens Italiens, des très importantes installations de la Société l'Union Hydro-Electrique, j'ai été sollicité par un certain nombre de nos collègues de vous fournir quelques précisions sur le rôle que devait jouer l'usine d'Eguzon, dans l'électrification de la Compagnie d'Orléans.

J'ai répondu avec d'autant plus de plaisir à cet appel que je trouve ainsi l'occasion d'exposer devant un public de techniciens une conception technique d'ensemble.

Vous savez en effet que l'étude que j'ai faite n'a pas été limitée à la substitution de la traction électrique, à la traction à vapeur, sur quelques lignes de chemins de fer et qu'elle vise beaucoup plus loin : elle comporte la préparation de l'électrification générale des contrées desservies par les lignes Est du réseau d'Orléans, et l'amenée de très importantes quantités d'énergie du Massif Central à Paris.

Le projet que je vais vous exposer ne sera peut-être jamais réalisé en totalité, mais je crois que malgré les modifications de détail qui pourront y être apportées, il servira de base aux électrifications futures de la région.

Dans mon exposé, je ferai entièrement abstraction de toute considération d'ordre commercial, et je me bornerai à vous indiquer les buts techniques que nous nous sommes assignés ainsi que les moyens proposés pour les atteindre.

En France, comme d'ailleurs dans tous les autres pays du monde, la consommation de charbon des chemins de fer ne représente qu'une partie relativement faible, 15 pour cent de la consommation globale,

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la *Société Française des Électriciens* du 5 Février 1927.

Digitized by Google

et il ne faut pas perdre de vue, dans toute étude d'ensemble, que si l'on électrifiait la totalité du réseau des chemins de fer français, ce dont il n'a jamais été question, l'économie réalisée ne permettrait pas de combler notre déficit annuel en combustibles minéraux, qui dépasse 30 pour cent de notre consommation annuelle.

Quelle que soit l'importance que puisse prendre l'électrification sur les trois réseaux français, pour lesquels la question est à l'étude (Midi, P.L.M., P.O.), il est certain que les quantités de houille noire remplacées par la houille blanche ne dépasseront pas 1,5 à 2 millions de tonnes et n'atteindront même pas 10 pour cent de la quantité de charbon brûlée dans les régions traversées par les lignes électrifiées.

Dans le cas particulier du réseau d'Orléans pour lequel la consommation annuelle de combustible est d'environ 1 800 000 tonnes, l'électrification de la grande artère Paris-Toulouse et des lignes dérivées ne pourra permettre que le remplacement de 7 à 800 000 tonnes de charbon par 300 à 350 millions de kWh.

Si on rapproche ce chiffre de celui de 3 milliards de kWh (1), qui représente la capacité approximative globale de production des usines hydrauliques, dont la construction est envisagée dans le Massif Central (concessions de la Haute-Dordogne, de la moyenne Dordogne, de la Truyère, de la Diège et de la Cère), on se rend compte que la quantité d'énergie dont la Compagnie d'Orléans pourra avoir besoin dans un avenir relativement éloigné, ne représentera elle aussi que 10 pour cent de l'énergie totale disponible dans le Massif Central.

Ce que nous venons de dire pour le réseau d'Orléans est encore plus vrai pour les réseaux du Midi et du P.L.M., qui desservent des régions beaucoup plus riches en énergie hydraulique.

L'électrification des chemins de fer ne doit donc pas être considérée au point de vue national comme un *but* mais comme un *moyen* : elle peut permettre de hâter la constitution du superréseau de lignes à haute tension qui doit sillonner la France, pour relier entre eux les grands centres de production d'énergie hydraulique aux grands centres de consommation d'énergie électrique. Elle peut aussi favo-

(1) Cette capacité de production se répartit sensiblement ainsi qu'il suit en millions de kWh :

Concession de la Société l'*Union hydro-électrique*	. . . . .	120
» Compagnie d'Orléans (Haute-Dordogne).	.	750
» Société des *Forces motrices de la Truyère.*	.	900
» Moyenne Dordogne	. . . . .	900
» Cère	. . . . .	230
» Diège.	. . . . .	100
		3 000 millions kWh

Digitized by Google

riser grandement le développement des réseaux généraux de production et de transport d'énergie, en leur assurant une clientèle fort intéressante en raison de la très grande utilisation de la puissance abonnée que comporte l'électrification des lignes de chemins de fer de grande longueur et de grande intensité de trafic. La ligne de Paris-Brive consommera, après électrification, une quantité d'énergie de 200 à 250 millions de kWh avec une demande maximum de puissance de 35 à 40 000 kW.

Tension des lignes de transport de force. — Le choix qui a été fait en 1920, par le gouvernement et les Compagnies, de courant continu haute tension, comme système unifié de traction pour l'électrification des chemins de fer d'intérêt général, a été déterminé en partie par le désir de ne constituer qu'un réseau unique de lignes de transport de force à haute tension. Si, à l'exemple des Suisses, des Allemands, des Autrichiens, nous avions adopté la traction monophasée, nous aurions dû constituer deux réseaux de lignes de transmission affectés l'un à la traction, l'autre aux transports industriels.

L'emploi d'un réseau unique est avantageux, non seulement pour les producteurs et les distributeurs d'énergie, mais aussi pour les consommateurs : les uns bénéficient d'une meilleure utilisation de la puissance disponible due à la *diversité* des charges, les autres d'une sécurité et d'une régularité d'alimentation plus grande due à la *multiplicité* des sources d'énergie.

J'ai eu l'occasion de montrer ailleurs, combien il était intéressant de profiter largement de l'emploi des très hautes tensions dans toutes les électrifications, la sécurité de l'exploitation augmentant en même temps que la capacité de transport beaucoup plus rapidement que les dépenses de premier établissement.

Pour une distance donnée, la capacité de transport d'une ligne croît comme le carré de la tension, alors que les frais de construction varient à peu près linéairement avec elle. Il est facile de montrer que la fusion en un seul des deux réseaux de force motrice industrielle et de traction, entraînera une économie de l'ordre de 35 pour cent sur le seul système de transmission. Si on tenait compte des lignes à prévoir pour réserve, cette économie serait beaucoup plus considérable. Pour assurer la sécurité de l'exploitation, il faudrait construire au moins quatre lignes dans le cas d'emploi de deux réseaux distincts ; ce nombre pourrait être réduit probablement à deux et certainement à trois dans le cas de charges superposées dans un réseau unique.

Digitized by Google

Il résulte de là qu'avec la conception française, il convient d'adopter ou tout au moins de prévoir, pour une ligne de transmission d'énergie électrique, une tension nettement plus grande que celle immédiatement nécessaire.

C'est ce qui a été fait pour les lignes de transport de la Compagnie d'Orléans, destinées à l'alimentation des sous-stations de traction : ces ligne sont construites pour une tension de 90 kV, pouvant être portée à 110 kV, tension beaucoup plus élevée que celle correspondant à la charge maximum de traction réalisable sur la section de Paris-Brive.

Les lignes d'interconnexion, entre usines hydro-électriques de la Creuse ou de la Dordogne, et usines thermiques de la région parisienne, sont montées sur des pylônes, étudiés de manière à ce que l'écartement entre conducteurs et masse soit suffisant pour permettre de porter de 150 à 220 kV la tension de service, quand il paraîtra opportun de transporter du Massif Central à Paris 100 000 kW à 500 km de distance.

Ce passage d'une tension à l'autre, se fera par addition de quelques éléments isolants et d'un bouclier à la chaîne actuelle d'isolateurs suspendus.

Equipement des usines. — Ce qui vient d'être dit pour les lignes à haute tension pourrait être répété presque sans changement pour les usines hydrauliques, qui, à notre avis, doivent être équipées pour une puissance beaucoup plus grande que celle qui leur est habituellement donnée.

Dans les usines hydrauliques, la dépense principale est entraînée par les travaux de génie civil, qui sont à peu près les mêmes quelle que soit la puissance installée : comme, en général, les dépenses de construction et d'équipement des usines proprement dites ne représentent, au moins dans le cas des chutes moyennes (de 60 à 120 m), envisagées dans le Massif Central, que 15 à 20 pour cent de la dépense totale, on voit que le doublement de la puissance installée n'entraînerait qu'une augmentation de charges fixes de l'ordre de 15 pour cent.

Le doublement de la puissance disponible dans une centrale hydraulique munie de réservoir journalier ou hebdomadaire, n'exige donc qu'une immobilisation supplémentaire de capitaux du même ordre que celle correspondant au doublement de la capacité de transport d'une ligne à haute tension.

Le courant de pointe qui peut être fourni par une usine hydraulique « suréquipée », et une ligne de transmission à tension « surélevée »,

Digitized by Google

coûtera donc beaucoup moins cher que le courant de pointe produit dans les centrales thermiques. Cette différence de prix tient non seulement à l'écart existant entre le prix du kW supplémentaire installé, mais encore à la suppression de la perte considérable de combustible correspondant au maintien en feu d'un grand nombre de chaudières, n'ayant à marcher en charge que pendant quelques heures par jour.

L'emploi des Centrales hydrauliques comme usines de pointes, que nous avons préconisé dans l'organisation du groupement — Union d'Electricité — Compagnie d'Orléans (qui a abouti à la création de la Société l'Union hydroélectrique), nous a conduit à équiper l'Usine d'Eguzon pour une puissance installée de 4 à 5 fois plus grande que la puissance moyenne annuelle : 60 000 kW pour une puissance moyenne de 13 000 kW environ.

La politique suivie jusqu'à présent en France en matière d'équipement d'usine hydraulique, a été toute différente, puisqu'en moyenne la puissance installée n'est même pas double de la puissance moyenne annuelle : d'après les statistiques du Ministère des Travaux Publics, la puissance installée dans les usines hydrauliques de France n'était en 1925, que de 1 290 388 kW pour une puissance moyenne annuelle de 718 000 kW.

Conjugaison des centrales hydrauliques et thermiques. — Cette différence de politique tient à ce que, jusqu'à présent, on s'est assez peu préoccupé d'utiliser la totalité de l'énergie disponible dans les chutes, et que l'on a laissé couler beaucoup d'eau inutilement par dessus les déversoirs : les statistiques de 1923, montrent, en effet, que près de la moitié de l'énergie potentielle des centrales hydrauliques est ainsi perdue. Par conjugaison systématique des usines thermiques et hydrauliques, et grâce au suréquipement de ces dernières, il paraît possible d'obtenir un rendement beaucoup plus élevé.

En assimilant comme nous l'avons fait, l'usine tout entière d'Eguzon à un groupe turbo-alternateur de 50 000 kW, nous avons permis à la Société l'Union d'Electricité de tirer le meilleur parti possible de l'énergie potentielle mise entièrement à sa disposition : tout porte à croire que sur un réseau d'une capacité d'absorption pratiquement infinie comme celui que constitue la région parisienne, l'Union d'Electricité pourra réaliser l'utilisation intégrale de l'énergie hydraulique disponible à Eguzon.

Tant que la puissance unitaire des groupes turbo-alternateurs des centrales thermiques ne dépassait pas 50 000 kW, il convenait de li-

Digitized by Google

miter à cette valeur la puissance transportée par ligne, pour permettre la substitution rapide d'une source d'énergie à l'autre ; mais la capacité des unités thermiques augmentant constamment pour atteindre dès maintenant 160 000 kW (1), il ne paraît pas trop audacieux de penser que des ententes analogues à celle réalisée pour l'usine d'Eguzon, pourront être conclues pour des usines hydrauliques de puissance et de production sensiblement doubles, soient 100 000 kW et 250 millions de kWh. Avec la tension de 150 kV, la puissance transportable par ligne était, pour 450 km de distance, du même ordre que celle des groupes turbo-générateurs en service en 1915-1926, avec la tension de 220 kV nous atteindrons une puissance inférieure à celle des groupes les plus puissants qui seront mis en service en 1927-1928.

Coïncidence des tracés des lignes de chemin de fer à électrifier en premier lieu et des lignes du superréseau de transport de force.

J'ai déjà eu l'occasion d'exposer ici même, il y a cinq ans, comment l'application des principes généraux qui viennent d'être rappelés nous avait conduits pour le choix des lignes à électrifier comme pour les lignes de transport de force et les usines hydrauliques, à n'envisager que l'équipement des lignes de chemin de fer à grande capacité ou ce qui revient pratiquement au même, des lignes pouvant procurer l'économie de combustible la plus grande.

Les dépenses d'électrification peuvent être divisées en deux parties : une fort importante qui est fixe et presque indépendante du trafic et une variable sensiblement proportionnelle à la capacité de débit de la ligne considérée. Plus le débit de la ligne est grand, plus la dépense globale est élevée, mais aussi plus est réduite la dépense rapportée à l'unité de trafic. J'ai montré et je n'y reviendrai pas ici, que la densité linéaire de consommation annuelle de combustible (tonnes de charbon dépensées par kilomètre de ligne et par an) était le paramètre caractéristique du trafic en matière d'électrification, et que plus cette densité était grande, plus l'opération financière, que constitue la substitution de l'électricité à la vapeur, avait de chances d'être rémunératrice. Il résulte de là que les lignes à grande densité de consommation doivent être équipées les premières et que l'échelonnement des

(1) L'*Uni ed Electric Light et Power C°* a commandé à la *Société Brown-Boveri* un turbo-générateur de 160 000 kW pour sa centrale de Hell Gate.

Digitized by Google

travaux doit être réglé en suivant l'ordre des densités de consommation décroissantes.

Si nous remarquons maintenant que les grands courants de trafic suivent sensiblement le même tracé quelle que soit la nature du transport considéré, nous voyons que le tracé général des grandes artères du superréseau de lignes de transport de force doit être le même que celui des grandes lignes de chemin de fer. De quelque manière que l'on examine la question, on constate que toutes les lignes de transport devant relier entre elles les grandes villes, centres d'émission ou de réception de trafic « Matière » ou « Energie » doivent naturellement suivre la route de difficultés minima d'installation qui est celle des grandes artères ferroviaires.

Sur le réseau d'Orléans, l'électrification a été commencée par la section de Paris à Orléans de beaucoup la plus difficile, précisément en raison de la densité de son trafic qui atteignait dès 1913 environ 1 400 Tonnes par kilomètre et par an; elle a été poursuivie sur la ligne Paris-Vierzon, mise en service à la fin de l'année dernière, où la densité de trafic est de l'ordre de 600 T. A ces lignes devraient succéder d'abord celle d'Orléans à Tours, de 700 T. de densité environ, puis celles de Vierzon à Limoges et à Brive, prolongement naturel de la section Paris-Vierzon et amorce de l'équipement de la ligne Paris Toulouse.

Sur l'ensemble de la section Paris-Brive, la densité de consommation de charbon est de l'ordre de 600 tonnes par km-an (1).

Consistance générale du réseau de lignes haute-tension. — Sur la carte fig. 1 sont indiquées les lignes à haute-tension dont la Compagnie d'Orléans a demandé la concession en vue de réaliser :

D'une part *l'électrification* de la grande ligne Paris-Brive et des transversales Brive-Clermont-Ferrand et Saint-Sulpice-Gannat.

D'autre part *le transport de force* Massif-Central-Paris et *l'interconnexion* avec les Usines hydrauliques des Alpes, par l'intermédiaire des lignes de la Société électrique du Centre et de celles de la Société Rhône-Jura.

Les 3 groupes principaux d'usines du Massif-Central compris dans les concessions dites de la Haute-Dordogne, de la Moyenne-Dordogne

(1) Cette densité est du même ordre que celle de la ligne du Saint-Gothard. Pour l'ensemble des lignes suisses actuellement électrifiées, cette densité est de l'ordre de 360 tkm an. Sur la ligne du Chicago Milwaukee Saint-Paul, cette densité atteignait en 1918, environ 450 tonnes par km-an.

Digitized by Google

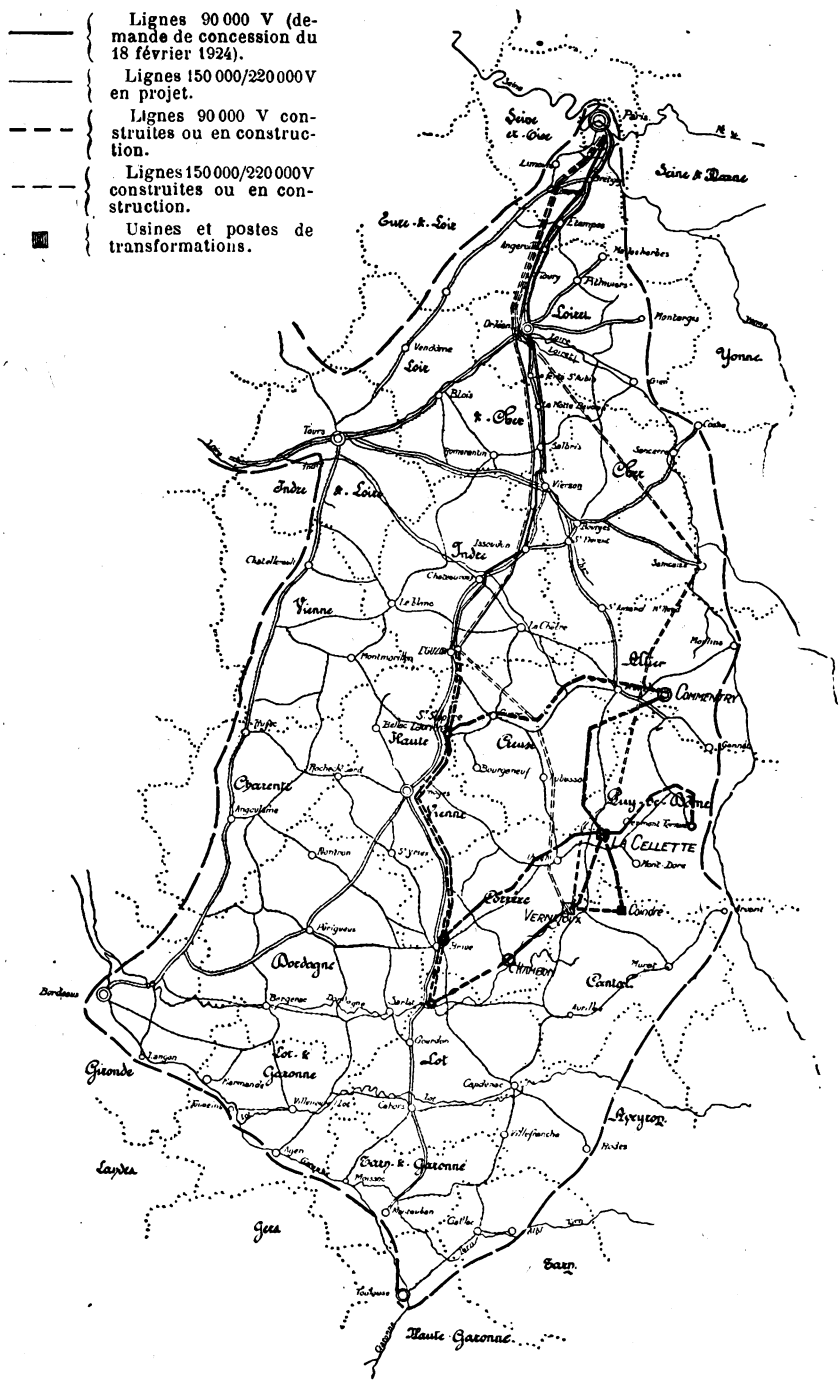


Fig. 1. — Electrification du réseau de Paris à Orléans.

Digitized by Google

et de la Truyère, concentreraient respectivement l'Energie produite dans les usines de chaque concession dans les Centrales de Marèges, du Chambon et de Brommat. Dans ces usines, la tension serait élevée à 220 kV pour le transport à grande distance, la distribution locale étant effectuée à des tensions moyennes comprises entre 10 et 90 kV. De cet ensemble d'usines partiraient 4 lignes à haute tension :

Deux lignes suivant le tracé Chambon-Marèges-Eguzon-Orléans (Chaingy)-Paris.

les deux autres lignes le tracé Brommat-Marèges-Commentry-Saincaize-Orléans (Chaingy)-Paris.

Le premier groupe de lignes passant par Eguzon permettrait d'effectuer une amenée directe d'énergie d'Eguzon-Paris, tandis que le second groupe de lignes passant par Commentry et Saincaize permettrait d'effectuer des échanges d'énergie avec les Alpes.

Une ligne partant de la Truyère non comprise dans le système de ligne dont la concession a été demandée par le chemin de fer, se dirigerait vers Saint-Etienne pour compléter la jonction du Massif-Central avec les Alpes (Usines de régime glaciaire construites sur l'Isère).

Ce superréseau devait être complété par une ligne à très haute tension se dirigeant vers Tours pour permettre la jonction ultérieure avec les usines thermiques de la région de Nantes. L'ensemble de ce réseau permettrait de transporter à Paris une puissance de 300 à 400 000 kW, représentant, même avec une utilisation réduite de 2 500 heures, une quantité d'énergie de l'ordre du milliard de kilowattheures.

A ce superréseau à 150/220 kV est raccordé le réseau d'alimentation des sous-stations de traction de la Compagnie d'Orléans, dont la tension a été fixée à 90 kV de manière à permettre de transmettre à Paris la totalité de l'énergie d'Eguzon sans utiliser les lignes à 150/220 kV.

La capacité de débit de chacune des 2 lignes à 90 kV est d'environ 30 000 kW pour la distance de 300 km séparant Paris d'Eguzon quand on utilise les compensateurs synchrones de réglage installés à Chaingy.

Le réseau à 90 kV sera prolongé au sud d'Eguzon au fur et à mesure du développement de l'électrification pour atteindre Souillac-Marèges-Commentry-Saint-Germain des Fossés et Clermont-Ferrand.

Constitution de l'Union hydroélectrique. — Ces grandes lignes du projet d'électrification générale du centre de la France étant ainsi

Digitized by Google

rappelées, nous pouvons préciser le rôle de l'usine d'Eguzon dans le superréseau de distribution Massif-Central-Paris.

C'est au cours de conversations que j'ai eues en 1920 et 1921 avec M. MAROGER, alors Directeur des Forces Hydrauliques au Ministère des Travaux Publics, qu'a pris naissance l'idée de compléter le système d'usines génératrices de la Haute-Dordogne, par l'addition d'une usine hydraulique « relai » située à peu près à mi-chemin entre Toulouse et Paris.

Les études faites en commun par la Compagnie d'Orléans, l'Union d'Electricité et la Société Production, Transport et Distribution d'Energie ont abouti à la constitution de la Société l'Union Hydro-Electrique, Société ayant comme objet principal de construire et d'exploiter l'usine d'Eguzon et d'assurer la surveillance et l'entretien des lignes à haute tension construites par la Compagnie d'Orléans.

Caractéristiques générales de l'Usine d'Eguzon. — Nous ne nous proposons pas de décrire en détail les installations réalisées par la Société l'Union hydroélectrique et nous renvoyons pour une description complète des travaux d'aménagement au très important mémoire que M. LAPORTE, Directeur de l'Union Hydroélectrique, a publié en 1924 dans la *Revue Industrielle* (numéros de janvier, mars, mai, juin et août).

Je me bornerai ici à indiquer que l'usine-barrage d'Eguzon peut produire, en année moyenne, une quantité d'énergie de l'ordre de 110 millions de kWh, en utilisant une hauteur de chute comprise entre 58,40 m (plan d'eau à la cote supérieure de 202,70) et 47,70 m (plan d'eau tendu à la cote 192 au-dessus des grilles de la prise d'eau).

La quantité d'eau accumulable derrière le barrage dans la tranche utile comprise entre ces deux niveaux est d'environ 30 millions de mètres cubes. Elle représente, quand le réservoir est plein, une quantité d'énergie utilisable pour suivre les fluctuations de la charge de 2,8 millions de kWh, soit environ 50 heures de marche à la pleine charge de 50 000 kW. La Creuse, qui est une rivière de régime pluvial, a son débit maximum en hiver, l'étiage étant en été (mois d'août); c'est donc au moment où la demande d'énergie est la plus forte en France dans les réseaux généraux de distribution que la quantité d'énergie disponible à Eguzon — et d'ailleurs dans toutes les rivières dévalant du Massif Central — est maximum.

La figure 2 représente les fluctuations des débits moyens mensuels de Creuse en litres par seconde et par km² de bassin versant. Ce gra-

Digitized by Google

phique a été établi en utilisant les relevés officiels effectués au pont de Chambon à 5 km en amont d'Eguzon. De ce tableau nous avons également déduit la courbe moyenne des débits cumulés en millions de mètres cubes.

Sur ce même graphique nous avons tracé à titre de simple indication (lignes pointillées) une courbe en échelon représentant, à une

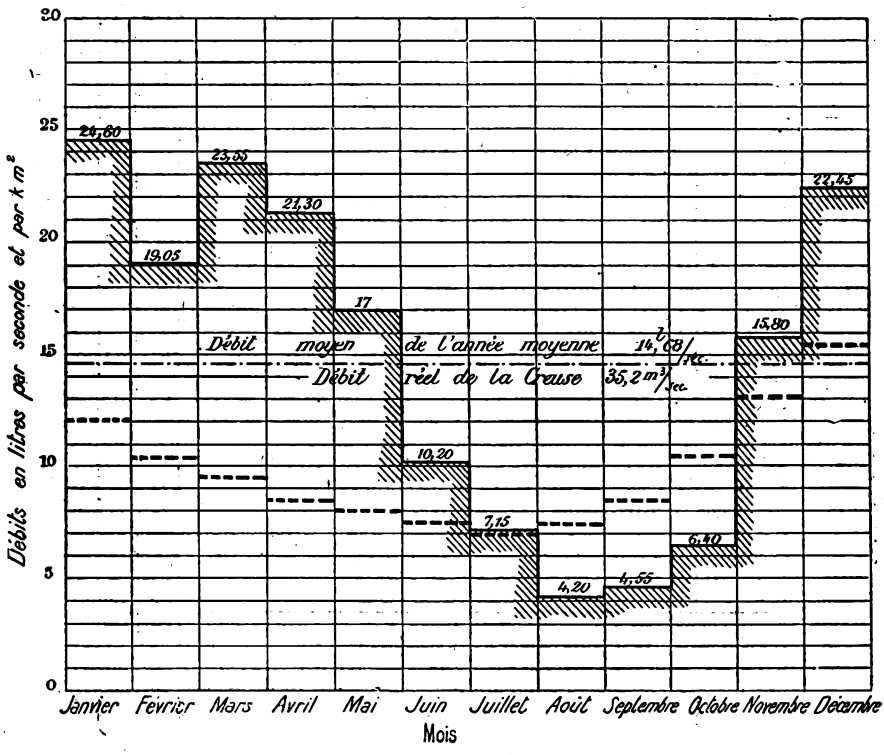


Fig. 2. — La Creuse au pont de Chambon (5 km à l'avant d'Eguzon)
Bassin versant : 2 400 km².
Courbe représentative des débits moyens mensuels en litres par seconde et par km² de bassin versant (année moyenne de la période 1912-1921).

échelle arbitraire, l'allure de la variation de la demande d'énergie dans les réseaux de la région parisienne.

Le tableau ci-contre donne les valeurs des débits moyens mensuels pour la période de 10 ans comprise entre 1912 et 1921; ces valeurs ont servi à établir les graphiques de la fig. 2.

Nature de la charge totale. — Parmi les courbes de production journalière de l'usine d'Eguzon, nous avons choisi celle du 5 février 1927 qui montre bien comment la centrale hydraulique est utilisée pour

Digitized by Google

TABLEAU I

Relevé des débits mensuels de la Creuse au pont du Chambon en litres-seconde par Km² de bassin versant.

Ans	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov	Décembre	Totaux	Moyenne annuelle
1912.....	32	16	38	15	6	9	9	15	13	11	25	21	210	17,5
1913..... ..	20	17	14	26	28	10	5	5	8	12	21	24	190	15,83
1914..... ..	14	15	36	20	12	10	6	3	3	3	8	21	151	12,58
1915....	32	33	22	24	30	25	10	4	4	10	26	33	253	21,08
1916,.....	24	27	32	30	18	13	11	4	4	5	19	30	218	18,16
1917.....	28	19	27	28	24	18	7	5	6	9	23	14	207	17,25
1918...	25	9	10	20	18	4	0,5	0,5	2	3	5	32	127	10,58
1919.....	27	19	33	30	20	5	14	1	2	3	25	36	225	18,75
1920.....	30	15	18	16	10	5	7	3	3	7	5	12	131	10,90
1921.....	14	10,5	5,5	4	6	3	1	1,5	1,5	1	1	1,5	50,5	4,20
TOTAUX.....	246	190,5	235,5	213	170	102	71,5	42	45,5	64	158	224,5	1762,5	
Moyenne mensuelle	24,6	19,05	23,55	21,3	17,0	10,2	7,15	4,2	4,55	6,4	15,8	22,45	Moy. gén.	14,68

Digitized by Google

faire les pointes de charge du matin et du soir en vue d'obtenir, sans perte d'eau par-dessus les déversoirs, le meilleur rendement possible des usines thermiques de la région parisienne. La figure 4 qui reproduit cette courbe de variation de puissance aux différentes heures de

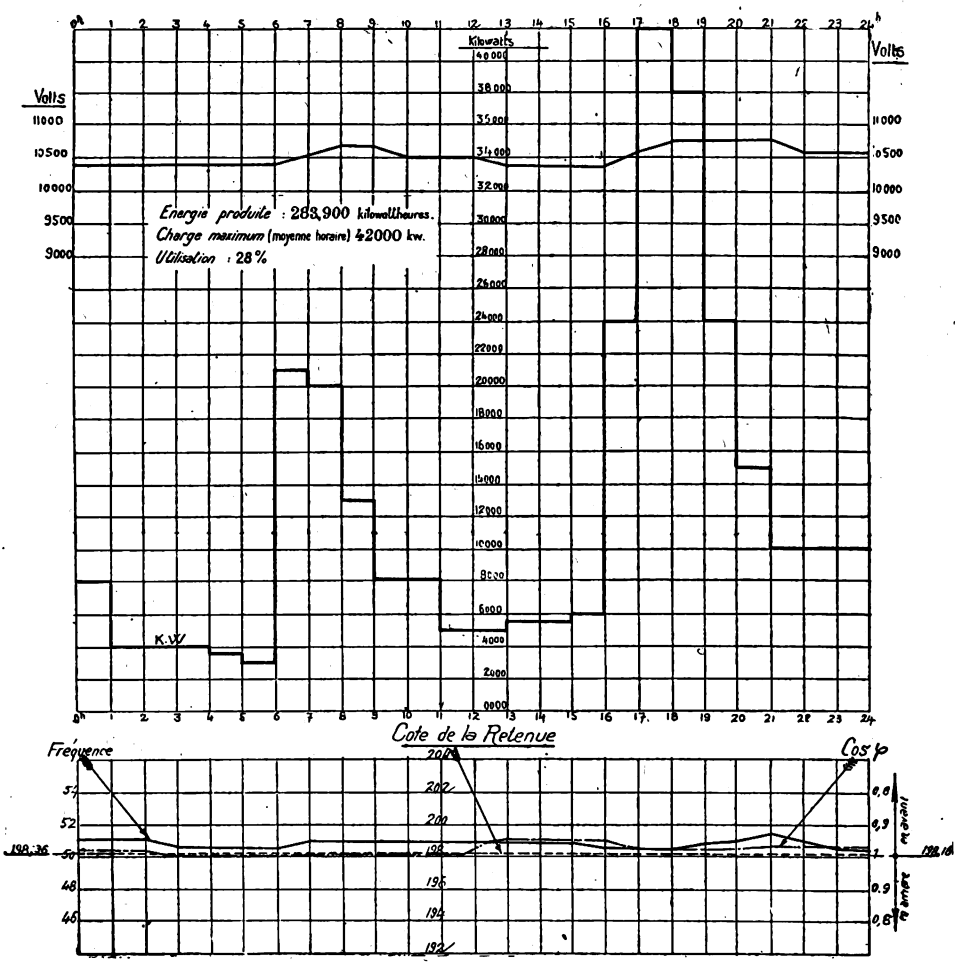


Fig. 3. — Usine d'Eguzon
Graphique de production totale du samedi 5 février 1927.

la journée, donne également les variations de la fréquence, du déphasage et de la tension aux bornes des alternateurs, ainsi que celles des cotes de la retenue.

L'examen de ce graphique montre que la nature même de la charge de traction permet de fonctionner avec un déphasage très faible (*fig.* 3), les commutatrices des sous-stations de traction marchant chacune avec un déphasage presque nul.

Digitized by Google

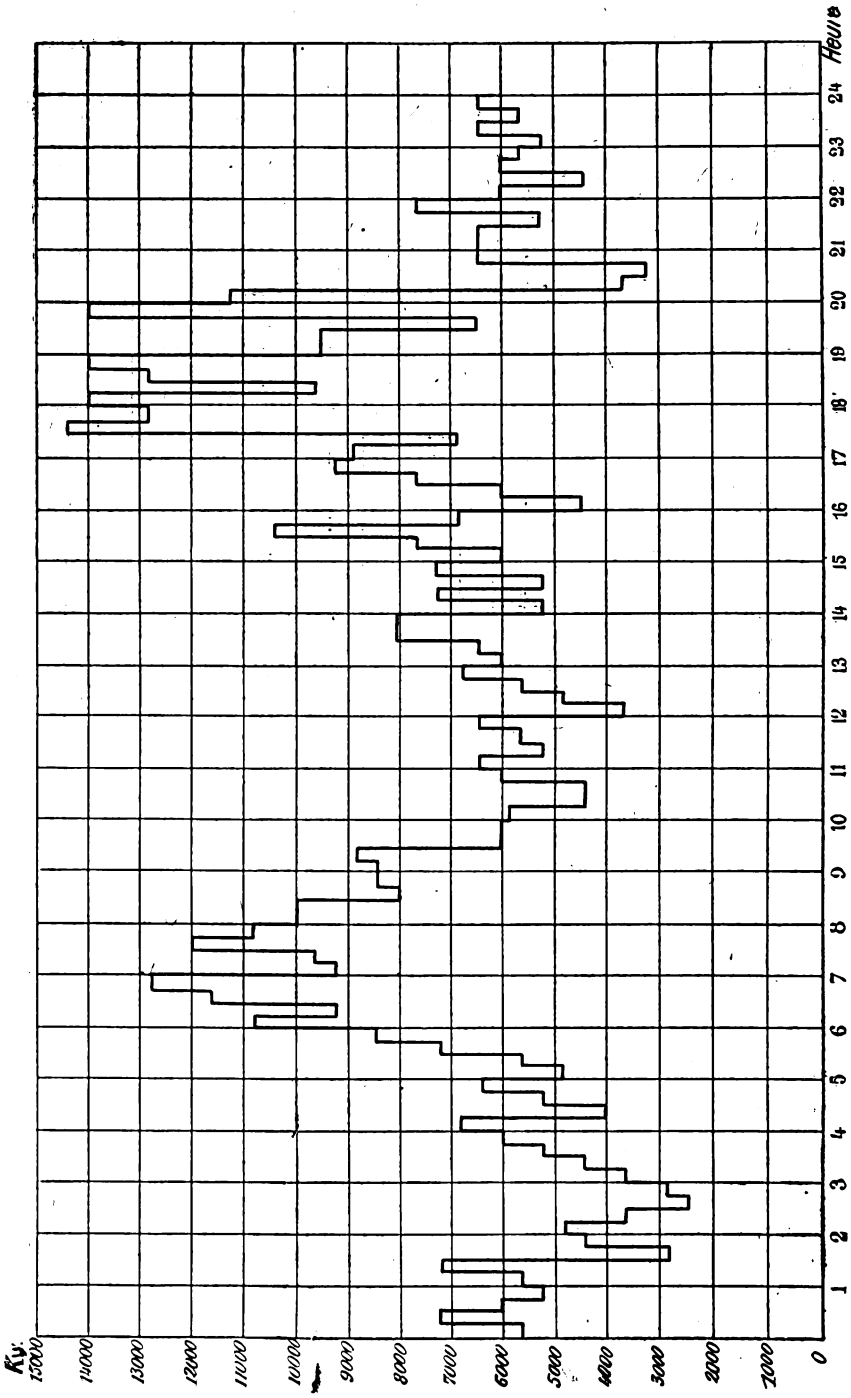


Fig. 4. — Ligne de Paris à Orléans (journée du 20 octobre 1926) :
Nombre de trains-kilomètres électriques par jour, 10 000 ; Consommation totale à 90 kV, 173 200 kWh ;
Puissance maximum à 90 kV, 14 400 kW ; Utilisation 50 pour cent.

Digitized by Google

Ce jour-là, la production totale a atteint 283 900 kWh pour une pointe de charge horaire de 14 400 kW : l'utilisation de la puissance maximum horaire ressort donc à 28 pour cent.

D'autres jours, la production journalière a atteint 500 000 kWh pour une pointe de charge du même ordre.

Nature de la charge de traction. — La figure 4 donne, pour la journée du 20 octobre 1926, les variations de charge en fonction du temps; les puissances indiquées représentent des puissances moyennes par quart d'heure déduites des lectures des compteurs d'énergie. Bien qu'à ce moment la charge de traction fut encore relativement faible et particulièrement irrégulière du fait de la prédominance des trains de banlieue dans le service assuré électriquement, l'utilisation est déjà fort élevée : elle atteint 50 pour cent pour une demande journalière d'énergie de 173 200 kWh et une pointe de charge de 14 400 kW.

Cette utilisation augmente régulièrement et quand la totalité du service marchandise sera assurée électriquement, elle dépassera 60 pour cent d'après nos calculs.

En janvier 1927, la quantité d'énergie consommée pour la traction à l'entrée du réseau haute tension, c'est-à-dire pertes de transformation dans les postes de Chevilly et de Chaingy comprises, a atteint 6 449 211 kWh dont 5 449 211 pour la traction proprement dite, déduction faite de la quantité d'énergie consommée pour l'éclairage et le chauffage des trains.

Le trafic assuré électriquement pendant le mois ayant été de :

366 574 trains kilomètres ;

191 677 900 kilomètres totales ;

172 405 900 tonnes kilomètres remorquées ;

On voit que pour des poids moyens de trains de 520 tonnes, locomotives comprises, la consommation d'énergie haute tension ressort à :

28,43 wattheures par tonne-kilomètre totale ;

31,61 wattheures par tonne-kilomètre remorquée.

Cette consommation unitaire décroîtra elle aussi quand la totalité du service sera assurée électriquement sur la section de Paris-Vierzon où le nombre de trains-kilomètres par mois est d'environ 720 000 trains-kilomètres. Le développement du service augmentera l'utilisation du matériel fixe, postes, lignes, sous-stations et par suite le rendement général de la transformation d'énergie triphasée haute tension en courant continu : de plus, la remorque électrique des trains encore

Digitized by Google

remorqués à vapeur entre Paris et Vierzon entraînera une diminution notable de la dépense d'énergie par tonne-kilomètre remorquée, ces trains, trains de marchandises et trains directs, ayant une très faible consommation intrinsèque.

On se rendra mieux compte de la réduction à attendre par l'examen du tableau ci-dessous donnant pour différentes natures de trains les valeurs de l'énergie à 1 500 V consommée aux bornes des machines. Cette énergie est mesurée par des compteurs à mercure montés sur chaque locomotive ou automotrice.

	Sens pair	Sens impair	Moyenne	Valeurs calculées
Trains de banlieue (automotrices).	27	27	27	32
Trains rapides-express-directs .	19	26	22.5	21
Trains de messagerie et denrées . .	19.5	22 5	21	21
Trains de marchandises	9	16	12	11 5

Consommation unitaire d'énergie pour la traction. — Les consommations d'énergie par tonne-kilomètre remorquée auxquelles nous arrivons dès maintenant, sont du même ordre de grandeur que celles que nous avions prévues dans nos études et notablement inférieures à celles que nous avions indiquées dans nos projets officiels. Il est probable que quand les résultats que nous obtenons dès maintenant seront sanctionnés par une expérience prolongée, nous pourrons adopter, dans les études comparatives entre traction électrique et traction à vapeur, des coefficients de correspondance entre consommation de charbon et d'énergie électrique bien plus favorables que ceux admis jusqu'à présent par prudence pour des lignes où circulent des locomotives à vapeur modernes utilisées dans des conditions des plus favorables. Je pense que l'on reconnaîtra, quand on fera la comparaison à service et vitesse égales, que ce coefficient d'équivalence est supérieur à 2,5 kg de charbon par kilowattheure (1), alors que les calculs économiques ont été généralement effectués en admettant 2 à 2,25.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur la figure 5 pour se rendre compte de l'incertitude qui règne sur la valeur réelle de la résistance opposée

(1) La consommation de charbon ressortait sur Paris-Vierzon en 1913 à environ 7 kg par tonne-kilomètre remorquée : la consommation actuelle de 31,61 Wh correspond donc à 2 kg 22 de charbon par kWh, mais nous le répétons pour un service moyen beaucoup plus dur que celui assuré par les machines à vapeur.

Digitized by Google

au mouvement des trains en palier et alignement droit : les courbes représentant la résistance en kilogrammes par tonne remorquée en fonction de la vitesse représentée sur la figure 5, diffèrent énormément les unes des autres et il serait hasardeux de penser, en présence de cette foule de renseignements contradictoires, que les calculs effectués puissent conduire à un résultat exact.

L'incertitude régnant sur les résistances dues à l'air et au roulement

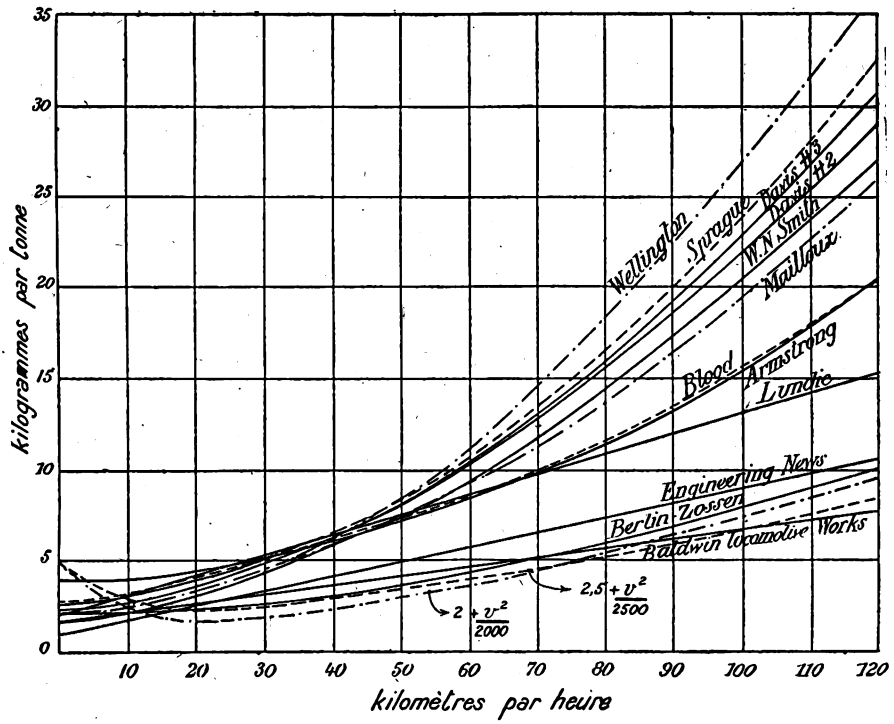


Fig. 5. — Courbes diverses proposées pour représenter la résistance en kg par tonne remorquée en fonction de la vitesse.

tient à ce que les expériences ont été faites sans que les auteurs aient pris la précaution de définir avec soin les caractéristiques du matériel employé. Cette incertitude sur la résistance au roulement se traduit sur les consommations d'énergie et dans toutes les études que nous avons faites, nous avons pris bien soin d'indiquer que toutes nos évalutions étaient peut-être entachées, sinon d'une erreur, du moins d'une incertitude de l'ordre de 20 pour cent.

Il faut toutefois dire que l'expérience que nous avions acquise pendant notre exploitation électrique de Paris à Juvisy, nous avait permis

Digitized by Google

de reconnaître que les deux formules

$$2 + \frac{v^2}{2.000}$$

et

$$2{,}5 + \frac{v^2}{2\ 500}$$

indiquées par les chemins de fer de l'Etat prussien à la suite des essais fameux de Marienfeld à Zossen, semblaient convenir assez bien au matériel européen.

Les essais auxquels nous avons procédé depuis plus d'un an semblent confirmer cette opinion et nous espérons que les relevés systématiques qui ont été faits sur notre réseau, notamment avec des trains de composition homogène, permettront de préciser ce point extrêmement important.

Je désire signaler dès maintenant que, pour les trains de marchandises, l'une des causes des divergences existant entre les différentes formules tient surtout à ce que le poids des véhicules entrant dans la composition des trains n'est pas indiqué.

Les expériences systématiques auxquelles nous avons procédé et procédons encore semblent montrer que pour les trains de marchandises, il est absolument nécessaire, si on veut serrer la réalité d'un peu près, d'introduire comme paramètre nouveau pour définir la résistance d'un train, le poids des véhicules.

Il y a lieu de rappeler à ce sujet, qu'à la suite des expériences faites aux Etats-Unis par le Pensylvania Railroad, la notion du tonnage fictif (adjusted tonage) s'est introduite petit à petit dans l'exploitation américaine, et que l'on utilise normalement pour la formation des trains de marchandises un appareil spécial appelé « tonage computer ».

Les essais du Pensylvania Rd ont montré en effet que pour les vitesses des trains de marchandises, la résistance totale au roulement d'un véhicule était fonction linéaire de son poids et pouvait être représentée par la formule :

$$R = a + bP$$

la résistance par tonne était donc de la forme

$$r = b + \frac{a}{P}$$

et décroît lorsque le poids des véhicules augmente.

C'est la différence entre les poids moyens des wagons américains et européens, qui explique l'écart existant entre les valeurs constatées

Digitized by Google

des résistances moyennes au roulement de grands trains de 6 000 à 10 000 tonnes des Etats-Unis et des trains de 1 000 à 1 400 tonnes français. Le poids moyen d'un wagon chargé est de 60 à 70 T dans un cas, de 20 à 25 T dans l'autre. Aux Etats-Unis, la résistance d'un train de marchandises est de l'ordre de 1,5 kg par tonne alors qu'elle est de 2,5 à 3 kg par tonne en Europe.

Dès maintenant je puis indiquer que pour notre matériel de marchandises à deux essieux, la résistance au roulement ne doit pas différer énormément de $1{,}5 + \frac{12 \text{ à } 15}{P}$. Cette expression n'est indiquée que sous réserve, et des vérifications ultérieures nous amèneront peut-être à modifier un peu les valeurs des coefficients qui semblent acceptables pour la vitesse de 30 km h environ.

Les résultats obtenus sur la ligne de Paris à Vierzon sont très importants au point de vue général, car ils fournissent la démonstration expérimentale de la souplesse et de la régularité de l'exploitation électrique à courant continu 1 500 V, sur des lignes à très grande fréquentation parcourues par des trains de toute nature, de vitesse et de tonnage très différents.

Le système à courant continu 1 500 V, ainsi que le réseau de distribution créé par et pour le chemin de fer, ont entièrement répondu aux exigences d'une exploitation complexe, malgré la longueur des transports et la diversité des charges à assurer. Les calculs effectués, tant en ce qui concerne la traction proprement dite, que les lignes de transport et les usines génératrices, ont été complètement en accord avec l'expérience et aucun remaniement n'a dû être apporté, ni même envisagé, à notre projet original. La marche à $\cos \varphi = 1$ que nous avons escomptée sur le réseau haute tension, permet d'obtenir un rendement extrêmement élevé pour la transformation, rendement qui dépasse 90 pour cent entre les bornes des usines génératrices et l'entrée des sous-stations.

L'usine d'Eguzon qui est la centrale hydraulique la plus importante de France, tant par son barrage imposant que par sa puissance installée, remplit complètement le but qui lui était assigné dans le plan général et il convient d'en faire remonter tout l'honneur à M. G. Mercier son administrateur-délégué, et à M. G. Laporte son Directeur.

Au point de vue des dépenses de premier établissement, nous avons le droit d'affirmer que nos dépenses ont été beaucoup moins élevées

Digitized by Google

que celles afférentes aux installations analogues réalisées à l'étranger compte tenu du change ; malheureusement les conditions financières du marché pendant la période de travaux ont été telles qu'il est impossible d'être aussi affirmatif pour le succès financier de l'œuvre, que pour son succès technique.

Au moment où nous avons fait nos études et où nous avons démarré notre effort, le cours du dollar était d'environ 12 fr 50 ($D = 12{,}50$), le loyer de l'argent était de l'ordre de 8 pour cent ($a = 8$) et le cours du charbon était de 100 fr ($C = 100$) le quotient $\frac{aD}{C}$, que j'appellerai index économique de traction électrique, avait alors comme valeur 1. Le prix des installations et surtout le loyer de l'argent ont subi dans ces dernières années des variations de même sens et presque de même amplitude, sans que le cours du charbon suive une ascension parallèle : notre index économique d'électrification $\frac{aD}{C}$ a progressivement augmenté, il a atteint 2,5 l'été dernier et sa valeur actuelle est encore voisine de 2.

Dans ces conditions, les résultats financiers de l'œuvre actuellement réalisée seront je pense favorables, mais il faut se garder d'être aussi affirmatif pour l'électrification des lignes à trafic plus faible dont l'équipement aurait été commencé depuis longtemps, si la situation économique ne nous avait pas amenés à surseoir provisoirement à la continuation des travaux. Il ne faut pas oublier qu'en Suisse, le gouvernement a encouragé les chemins de fer fédéraux à entreprendre et à poursuivre l'électrification malgré les conditions extrêmement difficile du marché en leur accordant à fond perdu une subvention très importante (30 millions de francs suisses). L'effort fait par les chemins de fer français est analogue par son ampleur et par les conditions mêmes de réalisation à celui fait en Suisse, et il serait à souhaiter qu'il fût aidé de la même manière par les pouvoirs publics, soit pour l'électrification elle-même, soit pour la constitution du superréseau qui constituent toutes deux des œuvres d'intérêt national.

OBSERVATIONS PRESENTÉES PAR M. G. LAPORTE

Directeur de l'Usine hydro-électrique.

Il semble intéressant de compléter les renseignements donnés par M. Parodi sur la chute d'Eguzon, en faisant ressortir les points qui caractérisent l'aménagement de cette chute et la distinguent des autres usines hydrauliques existant à ce jour.

Digitized by Google

1° Le barrage d'Eguzon est actuellement le plus haut des barrages français ; il est constitué à l'aide de ciment de laitier, qui est employé pour la première fois dans un ouvrage de cette importance.

2° Les ouvrages de déversement permettent d'évacuer un débit de 1 200 m^3/s, sans que le niveau légal de la retenue soit dépassé, ce qui représente 6 fois le débit d'étiage de la Seine et plus d'une fois 1/2 son débit maximum moyen mensuel.

Cette disposition a été rendue nécessaire, parce qu'il fallait être certain de mettre l'usine à l'abri d'un déversement du barrage, condition qui a été réalisée puisque le débit maximum de la Creuse, observé en 50 ans, n'a pas dépassé 1 100 m^3/s, les ouvrages de déversement pouvant, à la rigueur, évacuer 1 800 m^3/s sans que le barrage déverse.

3° On voit apparaître pour la première fois en France, l'emploi de vannes de vidange permettant de vider toute la retenue. Les vannes de vidange d'Eguzon sont du type Johnson ou Wellmann et permettent de règler, pour un débit quelconque entre 0 m et 60 m^3/s, la quantité d'eau rendue à l'aval sous toute hauteur.

4° L'usine comportant 5 groupes de 10 000 kW peut donc produire une charge de 50 000 kW, dont 30 000 sur une seule conduite. Des essais fait récemment ont montré que la coupure brusque d'une pareille charge était possible dans des conditions extrêmement satisfaisantes pour la conduite forcée ; on a observé, en effet, qu'une pareille suppression brusque de la charge ne donnait qu'un coup de bélier de 8,50 m, soit 16 pour cent de la pression statique, chiffre relativement très faible pour des conduites qui ont subi, après pose, un essai à la pression de 100 m d'eau.

Sans parler des tensions du poste de transformation d'Eguzon (90 000 V et 150 000 V), des prises d'eau dont le seuil est à 23 m au-dessous du plan de la retenue, et qui permettent d'évacuer, pour le moment, sous cette pression, un débit de 123 m^3/s, pouvant être porté à 150 m^3/s, il semble que les points rappelés ci-dessus caractérisent d'une façon assez nette l'usine d'Eguzon.

Digitized by Google

NOTE DE M. DE BELLESCIZE (1)

sur une image mécanique de l'hystérésis.

L'introduction d'un frottement « non visqueux » dans un résonateur électrique ou mécanique en modifie les propriétés et permet, moyennant certaines conditions, d'espérer une atténuation notable des perturbations violentes superposées aux oscillations sinusoïdales faibles qui constituent, par exemple, un signal à recevoir.

J'ai ainsi été conduit à rechercher le moyen pratique d'introduire et d'utiliser un frottement de nature non visqueuse dans un récepteur de T.S.F. Ces recherches ont fait l'objet d'un certain nombre de publications (2).

Parmi les procédés auxquels j'ai songé à faire appel, l'hystérésis des métaux magnétiques est en définitive le seul qui ait fixé mon attention ; il est en effet connu, à la suite d'un travail de M. J. Granier (3), que tout se passe comme si le cycle était dû à la superposition d'une infinité de cycles élémentaires, ayant individuellement la forme de parallélogrammes caractéristiques du frottement constant. Dans le but de donner une base physique aux montages décrits, j'ai donc admis que le métal est composé de molécules soumises à des frottements différents, décrivant par suite des cycles d'épaisseurs inégales. La figure ci-jointe, expédiée le 31 déc. 1926 à l'United States Patent Office, illustre parfaitement cette hypothèse ; ce n'est au reste que la figure n° 48 du travail de M. J. Granier.

Il est donc déjà connu qu'un cycle d'hystérésis peut être attribué à

---

(1) Présentée à la réunion mensuelle du 5 mars 1921, à la suite de la communication de M. Girault.

(2) *Les Atmosphériques et leur influence sur les signaux de T.S.F.* (p. 43-48). E. Chiron, Editeur.

Brevet 587 625 du 28 décembre 1923.

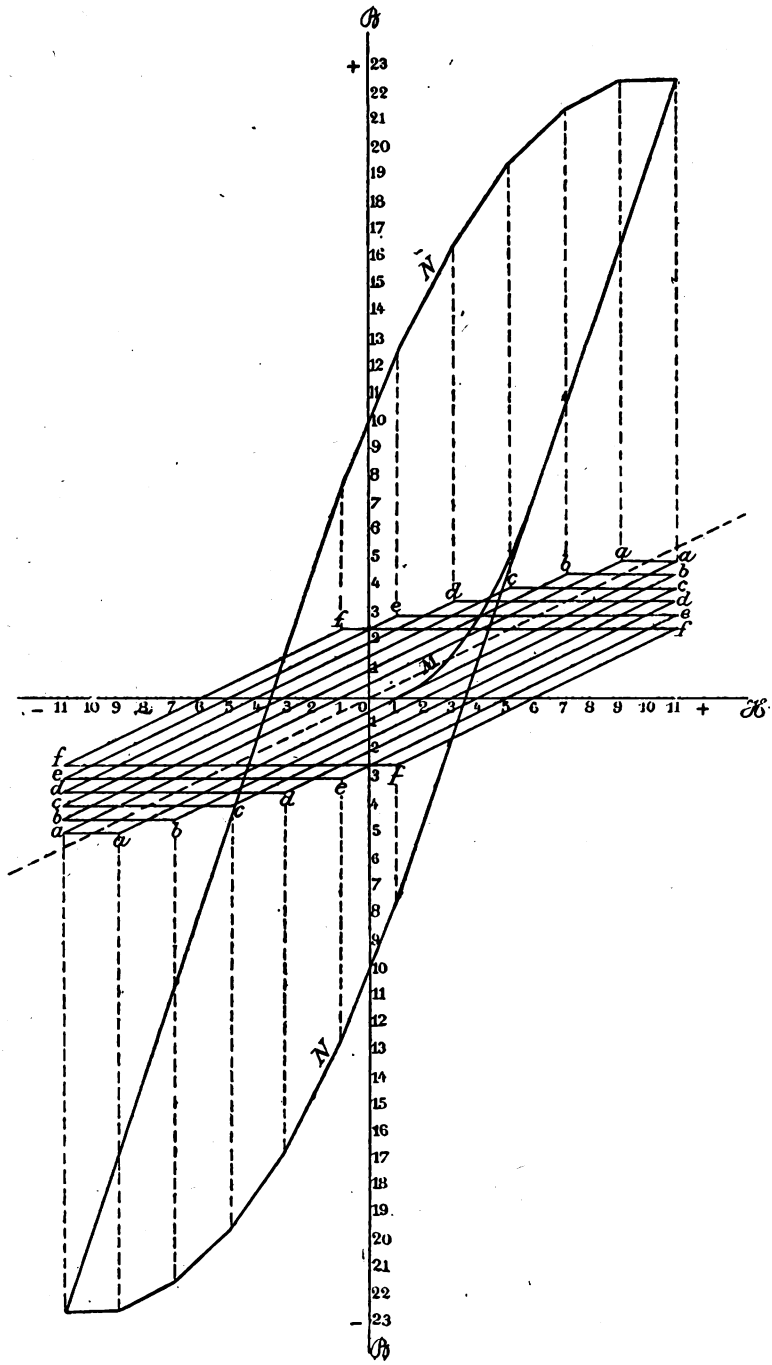
1re addition : 29.982, 22 juillet 1924.

2e addition : 30.777, 8 avril 1925.

« New Method pertaining to the reduction of interference in the reception of wireless telegraphy and telephony ». (Procedings of the Institute of Radio Engineers avril 1926).

(3) M. J. Granier : Les pertes d'énergie dans les diélectriques (Bulletin de la Société Française des Electriciens, août-septembre-octobre 1923, pages 460 et 463).

Digitized by Google



Digitized by Google

la présence d'un frottement constant et, selon moi, la présence de deux branches montante et descendante non confondues, serait autrement inexplicable. Mais il est plus difficile de choisir entre les divers mécanismes aptes à rendre compte avec une certaine précision de la forme du cycle ; en particulier, du moment que cette forme est obtenue, l'allure du coefficient de STEINMETZ doit se trouver satisfaite.

Les diverses explications possibles doivent être situées entre deux hypothèses extrêmes :

— Les molécules sont simultanément actionnées par le champ magnétisant, les arrondis des cycles devant alors être uniquement attribués à l'inégalité des frottements.

— Les molécules sont soumises à des frottements identiques, les arrondis étant alors dus à un mode d'entraînement particulier, tel par exemple que celui imaginé par M. GIRAULT.

La première hypothèse a pour elle deux considérations :

— D'une part, il est admis, tant en magnétisme que dans la théorie des diélectriques, que l'action du champ est indépendante du milieu ; le champ est, comme connu, celui que l'on observerait dans une cavité parallèle aux lignes de force. Les diverses molécules sont donc simultanément actionnées, ce qui, en première approximation, neutralise l'effet des liaisons que l'on peut imaginer entre elles.

— D'autre part, la présence d'une tangente inclinée à l'origine, suppose forcément, comme l'indique M. GIRAULT, qu'un certain nombre de molécules ne sont soumises à aucun frottement non visqueux ; du moment qu'on admet une telle discontinuité dans la constitution de la matière, il semble plus logique d'admettre du même coup que les diverses molécules sont soumises à des frottements inégaux, allant de zéro à une valeur maxima. La répartition du nombre des molécules soumises à chaque frottement particulier varierait elle-même suivant une loi qui fournirait une fonction supplémentaire apte à rendre exactement compte du phénomène observé.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS [1]

SOMMAIRE

3e Section. — Le glucinium (M. Matignon), p 571. — Les redresseurs électrolytiques (M. Féry), p. 574 — Le raffinage de l'aluminium (M Bunet), p. 575.
4e Section — Programme de la semaine d'octobre, p. 577. — La signalisation sur les réseaux métropolitains (M. Guéry, p. 577.
5e Section. — La télégraphie harmonique (M Pages), p. 578. Les perfectionnements aux triodes à gaz et aux relais à arc (M. Toulon), p. 580.
6e Section.— Programme de la Semaine d'octobre, p. 589. — Présentation d'un audiomètre (Delvaux) p 589 — Mesure de la valeur maximum des tensions alternatives inférieures à 10 000 v (M. de la Gorce), p. 594.

3e SECTION. — ELECTROCHIMIE. — ELECTROPHYSIOLOGIE.

Présidence de M. Chaumat.

Séance du 19 mars 1927. — M. Matignon, membre de l'Institut, présente une communication sur *le Glucinium*.

1° La glucine GlO fut découverte en 1798, par Vauquelin, dans l'émeraude ou béryl, qui est un silicate double d'aluminium et de glucinium. Wöhler obtint en 1828 le glucinium métallique, en réduisant $GlCl^2$ par le potassium. M. Lebeau prépara le glucinium par électrolyse des composés :

$$GlF^2, 2NaF \quad \text{ou} \quad GlF^2, NaF ;$$

le creuset formant cathode était en nickel ; au centre descendait l'anode constituée par une tige de carbone ; l'intensité était de 6 à 7 ampères sous tension de 35 à 45 V.

Il est à remarquer que GlF^2 n'étant pas conducteur de l'électricité, fonctionnait ici comme ionisant. C'est NaF qui subissait la décomposition ; Na libéré à la cathode décomposait GlF^2, d'où la production du glucinium.

---

(1) Tout membre de la Société française des Electriciens peut, en adressant une demande au Délégué général, 14, rue de Stael, être convoqué aux séances des sections.

Digitized by Google

On peut observer, d'autre part, que l'emploi du fluorure de glucinium était préférable à celui du chlorure, celui-ci étant relativement volatil.

2° Vers 1911, M. MATIGNON, remarquant que, dans la classification périodique de MENDELEJEFF, le glucinium était situé entre le lithium et le bore (qui forment des azotures) et de plus, en tête de la colonne : Mg, Ca, Sr, Ba (corps dont l'affinité pour l'azote est également connue), considéra comme probable la possibilité de former un azoture de glucinium. Il obtint celui-ci, avec quelques impuretés, en chauffant la glucine avec du carbone dans un courant d'azote, vers 1 600°C — 1 700°C.

L'azoture pur fut obtenu ultérieurement.

3° En fondant dans le vide, au four électrique, une pastille de poudre de glucinium (mélangé de GlO), FIOKER obtint des globules de glucinium, de quelques décigrammes, qui permirent d'étudier certaines des propriétés du métal.

Il est gris d'acier, cassant, très dur (rayant le verre et le quartz). Sa densité est 1,84 et son point de fusion 1 290°. Il n'est ni malléable, ni ductile à froid, mais le devient à chaud. Il n'absorbe pratiquement pas les rayons X à cause de son faible poids atomique et de là dérivent certaines applications.

Mais sa propriété la plus intéressante paraît être (avec sa faible densité) son énorme coefficient d'élasticité (30 000 kg par mm²). Il convient de rapprocher de ce nombre les valeurs du même coefficient pour quelques autres métaux :

Mg	4 000
Al	7 000
Zn	9 000
Acier	20 000 à 22 000
Ni	22 000

Ce remarquable coefficient d'élasticité du glucinium, semble le destiner à rendre, comme métal d'addition, de grands services dans les alliages d'aéronautique.

Comme l'aluminium, le glucinium est protégé par une couche d'oxyde imperméable. (Il peut jouer le même rôle qu'Al dans des redresseurs électrolytiques).

4° Les propriétés chimiques du glucinium ont été particulièrement étudiées par M. MATIGNON et Mlle MARCHAL, qui ont notamment déterminé les constantes thermochimiques de ce corps.

Digitized by Google

La chaleur de formation de GlO est 140,1c, ce qui est très grand, Le glucinium est donc très réducteur.

Il résulte de là que le glucinium déplace Al de l'alumine, Ba de la baryte, K de la potasse. (Cette dernière réaction, qui s'accomplit vers 700° C, est très exothermique et même explosive).

Quant à la chaleur de combinaison du glucinium et du chlore, elle est relativement faible, ce qui rapproche des métalloïdes, le glucinium qui, déjà au point de vue physique, a une allure métalloïdique assez marquée.

5° Une Société allemande fondée par Goldschmidt (remplacée par Siemens et Halske), a mis récemment au point une électrolyse permettant d'obtenir du glucinium fondu.

Uu creuset en carbone (de 7 cm de diamètre et de 7 cm de profondeur) forme anode. On y descend une cathode de fer (refroidie intérieurement par une circulation d'eau). Le chauffage est au « kryptol ».

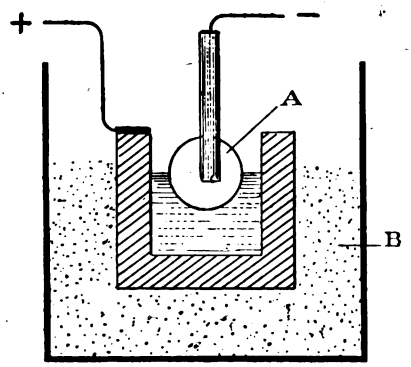


Fig. 1. — Creuset Goldschmidt pour la préparation du glucinium fondu (A) glucinium libéré ; (B) Granulé de carbone.

Le creuset étant porté à 700° C, on y introduit d'abord le mélange NaF, GlF^2, puis le mélange BaF^2, GlF^2. L'électrolyse a lieu vers 1 350° C. Toutes les 4 minutes, on ajoute 10 grammes d'un troisième mélange BaF^2, $2GlF^2$, afin de compenser la volatilisation. Le glucinium libéré est retiré toutes les 3 heures. Il faut arrêter l'opération au bout de 9 heures, en raison de l'altération du creuset.

On obtient ainsi 47 à 55 grammes de glucinium (environ), en dépensant 60 kWh.

Le rendement matière est seulement de 38 à 44 pour cent.

6° M. Matignon remarque que la préparation du glucinium ne peut

Digitized by Google

être que très onéreuse. En effet, l'équivalent de ce métal est très petit

$$\left(\frac{9}{2} = 4.5\right).$$

De plus, le poids de glucine contenue dans le béryl

$$6SiO^2,\ Al^2O^3,\ 3GlO$$

est minime. Enfin le béryl est peu attaquable.

On a songé à électrolyser à la température ordinaire $GlCl^2$ dissous dans une liqueur organique (pyridine). Mais la résistivité est tout à fait excessive (et de plus, il a été constaté récemment que le glucinium réagissait sur la pyridine).

Celui-ci permettra peut-être, ainsi qu'il a déjà été dit, une notable amélioration des alliages légers (à base d'Al) ou ultra-légers (à base de Mg) et l'on peut avoir, dès maintenant, d'assez grandes espérances à cet égard.

Le prix du glucinium est de 150 marks (à 6 fr.) les 25 grammes, soit environ 40 francs le gramme. La dépense d'énergie pour la production étant seulement de l'ordre de 1 kWh par gramme, ne représente qu'une très minime partie du prix de revient.

Le béryl de Limoges est plus riche en glucine (8 pour cent), et on trouve aussi du béryl à Madagascar et surtout en Amérique.

Le revenu des alliages de glucinium peut être accéléré comme celui du duralumin par un chauffage vers 100-150°C.

M. Barrand signale à cette occasion que les alliages Al-Gl se trempent à température plus élevée (700°C environ), que le duralumin (500°C environ).

M. Féry présente une communication sur *les redresseurs électrolytiques.*

On sait que ces appareils fonctionnent mal lorsque l'intensité du courant dépasse quelques dizaines d'ampères. Désireux de rechercher la cause de ce fait, M. Féry réalisa le montage représenté figure 2.

Il constata que lorsqu'on enfonce de plus en plus la lame d'Al dans l'électrolyte, I' (altern.) augmente régulièrement, mais que I (continu) augmente d'abord, passe par un maximum puis décroît. Le rendement devient donc désastreux.

Or l'aluminium est entouré de bulles qui sont de l'hydrogène. Ces bulles ayant un mouvement ascendant, le liquide doit être plus riche en H vers le haut de la lame d'Al, que vers le bas. On peut admettre

Digitized by Google

que cet H réduit la pellicule d'alumine qui assurait le redressement et aussi qu'il détermine l'apparition d'un couple galvanique nuisible.

Pour éviter cela M. FÉRY dispose l'Al horizontalement (sous la

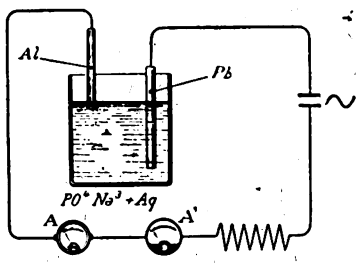


Fig. 2 — Redresseur électrolytique. Montage de M. Féry.
A. ampèremètre à courant continu ; A' ampère à courant alternatif.

forme d'une spirale), au-dessus de Pb (également en spirale horizontale).

Le liquide circule suivant les flèches d'où un auto-refroidissement.

Dans ces conditions, la surface de l'Al et par conséquent l'intensité

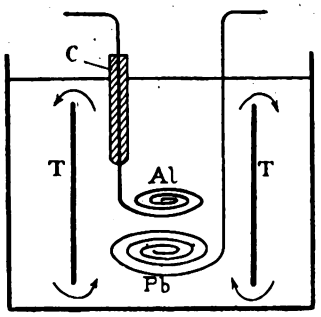


Fig. 3. — Redresseur Féry à électrodes horizontales.
C, caoutchouc ; T, tube de celluloïd.

redressée peuvent croître indéfiniment sans inconvénient. Le rapport $\frac{I(\text{continu})}{I(\text{altern.})}$ est de 45 à 50 pour cent. Il diminue un peu avec le temps de fonctionnement, ce qui résulte uniquement d'une légère élévation de la température.

M. BUNET présente une communication sur *le raffinage de l'aluminium*.

L'Al non raffiné ne titre guère plus de 99,4 pour cent, les impuretés

Digitized by Google

étant Fe, Si ou SiO^2, Al^2O^3, etc. Le raffinage permet d'obtenir un métal beaucoup plus pur, titrant environ 99,8 pour cent à 99,9 pour cent. Il a même été possible d'atteindre 99,983 pour cent (les impuretés étant principalement Cu, puis Fe et Si).

L'opération s'effectue dans un four rappelant, par sa disposition générale, un four ordinaire à aluminium. Le métal à affiner (servant d'anode) est allié à du cuivre et se trouve (à l'état liquide), sur la sole (en carbone) du four. En dessus est l'électrolyte, constitué par de la cryolithe, additionnée d'AlF^3, de BaF^2 et d'Al^2O^3 (le BaF^2 ayant pour rôle d'accroître la densité du bain). Enfin, à la partie supérieure, flotte l'aluminium affiné, dans lequel plongent les cathodes (en carbone). La température est comprise entre 900 et 1 100°C.

Une réfrigération des parois de la cuve a pour effet de solidifier de l'électrolyte contre celles-ci, ce qui empêche les dérivations de courant à travers le revêtement de carbone.

L'alliage-anode s'appauvrit en Al ; aussi fait-on périodiquement écouler hors de la cuve une partie de cet alliage, dans un creuset contenant de l'Al fondu ; le mélange ainsi obtenu est réintroduit par un entonnoir dans la région inférieure de l'électrolyseur. D'autre part on fait écouler de la partie supérieure, une quantité convenable d'Al affiné.

L'affinage de l'Al exige au moins 20 kWh par kg (qui s'ajoutent aux 30 kWh de première extraction). Le prix du métal est vraisemblablement majoré de 100 pour cent, dans le cas d'une petite installation (et peut-être de 50 pour cent seulement dans le cas d'une installation importante).

L'Al ainsi purifié est très résistant à la corrosion. Par exemple, un échantillon plongé dans HCl dilué n'a pas présenté d'attaque après six semaines d'immersion (alors que l'Al ordinaire est dissous très rapidement par HCl). On peut ainsi prévoir de nouveaux emplois de l'Al, limités malheureusement par un prix de revient élevé. Cette dernière considération passerait d'ailleurs au second plan pour certaines applications spéciales (redresseurs et condensateurs électrolytiques, parafoudres).

M. Barrand fait connaître qu'un échantillon de 100 kg d'aluminium raffiné, livré à la Compagnie Alais, Froges et Camargue, tirait 99,91 pour cent d'Al avec 0,06 pour cent de Fe et 0,03 pour cent de Si.

Digitized by Google

4e SECTION. — CANALISATIONS. — DISTRIBUTION GÉNÉRALE. TRACTION.

Présidence de M. PÉRIDIER.

SÉANCE DU 4 AVRIL 1927. — *Programme de la semaine d'octobre* 1927.

Les questions suivantes seront discutées à la semaine d'octobre.

a) la signalisation et le contrôle automatiques des trains sur les réseaux d'intérêt général et sur les métropolitains.

b) les procédés modernes de récupération en traction électrique.

c) la protection sélective sur les réseaux de distribution d'énergie électrique.

d) méthode de calcul des pylônes.

Les Membres de la Société qui auraient des communications à présenter, sur l'un de ces sujets, à la semaine d'octobre, sont invités à se faire connaître au Siège Social, 14, *rue de Staël, avant le* 1er *juillet.*

M. LEMONNIER, Ingénieur à la Compagnie des Chemins de fer de l'Etat, fait une communication sur *la signalisation et contrôle automatique des trains sur les voies ferrées d'intérêt général* (1).

La signalisation sur les réseaux métropolitains. — M. GUÉRY a déjà exposé le problème particulier de la signalisation sur les métropolitains (2). D'autre part, les principes applicables à toutes les lignes de chemins de fer viennent de faire l'objet de la communication de M. LEMONNIER. M. GUÉRY peut donc se contenter d'attirer l'attention sur quelques points qui lui paraissent particulièrement caractéristiques, de l'application des signaux aux chemins de fer métropolitains.

Tout d'abord, le problème est simplifié par le fait qu'il s'agit toujours de lignes à double voie et qu'en particulier dans les lignes souterraines, la visibilité est indépendante des conditions atmosphériques. La vitesse ne dépasse pas 40 km à l'heure et est la même pour tous les trains.

M. GUÉRY indique quelques particularités de la visibilité dans les

(1) Cette communication paraîtra in-extenso dans un bulletin ultérieur.

(2) *Revue générale de l'Électricité*, 28 novembre 1926, pages 904 à 912, et 5 décembre 1925, pages 943 à 951.

Digitized by Google

courbes ; les limitations de vitesse imposées sont telles que la distance de freinage est en général inférieure à la distance de visibilité.

Sur les lignes métropolitaines, en raison de l'afflux permanent de la foule dans des accès souterrains de dimensions restreintes, la régularité du service est une nécessité primordiale et doit conditionner toutes les installations. En particulier, l'exploitation doit être simplifiée au maximum et exclure tout embranchement utilisé en service normal. C'est une simplification de plus dans les dispositifs de sécurité et en particulier la réduction au minimum des enclenchements dont la complication est très grande, même pour les embranchements les plus simples en apparence.

Pratiquement, la signalisation automatique s'est imposée sur les lignes métropolitaines avant d'intéresser les chemins de fer d'intérêt général et, pour les raisons qui précèdent, elle s'est adaptée aisément aux conditions du trafic.

Le précédent est d'autant plus intéressant qu'il a fallu résoudre certaines difficultés, dues au passage du courant de traction dans les circuits de voie, et qu'ainsi le block automatique des métropolitains pourra s'appliquer intégralement aux lignes d'intérêt général électrifiées.

M. GUÉRY signale que le mode d'exposé qu'il a adopté dans sa note fait ressortir la progression du nombre des éléments, fils et relais, à employer, proportionnellement au nombre des conditions imposées.

A propos des expressions « section tampon », « block permissif » « block absolu » qu'il a employées dans sa note, M. GUÉRY est amené à se demander si sa terminologie est conforme à celle usitée sur les chemins de fer d'intérêt général.

5e SECTION
TÉLÉGRAPHIE. — TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSIONS PAR ONDES

Présidence de M. REYNAUD-BONIN.

SÉANCE DU 25 MARS 1927. — M. PAGES. Ingénieur à la S. E. L. T., présente une communication sur la *Télégraphie harmonique*.

Il expose à la Section l'état actuel de la question de la Télégraphie Multiplex par fréquences acoustiques et, plus spécialement, la documente sur le système étudié par la Société d'Etudes pour liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance, et sur les expériences entreprises par cette dernière.

Il rappelle d'abord l'ancienneté de cette méthode, ainsi que les

Digitized by Google

premiers systèmes utilisant des organes électromécaniques (système Mercadier-Magunna à diapasons entretenus et monotéléphones). Ces systèmes ne se sont pas développés.

Le développement des câbles souterrains d'une part, les perfectionnements de la technique de courants faibles d'autre part, ont redonné à cette question un vif caractère d'actualité. Passant en revue les systèmes modernes expérimentés, tant en Amérique qu'en Allemagne, l'auteur expose leurs caractères principaux, leurs analogies ou leurs différences. Il indique les différents montages de filtres utilisés, ainsi que les écarts de fréquences et les vitesses de signalisation que ces appareils permettent de réaliser.

Il décrit ensuite les appareils utilisés par la Société d'Etudes pour liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance et, en particulier, le montage des oscillateurs et des récepteurs qui font partie de ces appareils.

Les oscillateurs ont permis de résoudre simplement les problèmes suivants :

1° réglage de la fréquence par self à noyau de fer variable ;

2° réglage de l'intensité par résistance variable ;

3° forme d'onde très sensiblement sinusoïdale ;

4° couplage des oscillateurs en parallèle sans interaction

5° manipulation par coupure du circuit extérieur et obtention de signaux parfaitement découpés.

Les récepteurs comportent une lampe sélectrice et une lampe redresseuse.

La première assure la sélection des diverses signalisations ; on utilise le principe de l'anti-réaction. On a utilisé d'abord des réseaux d'anti-réaction très simples permettant d'obtenir des effets de résonance aiguë. On utilise maintenant des réseaux un peu plus compliqués qui assurent l'amplification d'une bande de fréquences de largeur convenable et très nettement délimitée.

La seconde lampe assure la détection du signal ; mais elle a aussi pour effet de transformer le signal déformé par la première lampe en un signal continu sensiblement carré. Dans ce but, on utilise concurremment les effets d'une forte polarisation de grille, d'un réseau de réaction très sensible quoique très stable et de très faible constante de temps et de la saturation de la lampe. Cette lampe commande le relais récepteur.

L'auteur termine par une description des postes et par une relation sommaire des expériences faites et des résultats obtenus.

Digitized by Google

Des appareils du type ci-dessus ont été expérimentés entre Paris et Lyon sur ligne aérienne, puis entre Paris et Le Havre sur câble téléphonique souterrain pupinisé et muni de répéteurs. Ils ont été mis en expoitation, à titre d'essai, par l'Administration et assurent quatre communications dans chaque sens sur le même circuit entre Paris et Le Havre, avec de nombreuses retransmissions sur l'Angleterre d'une part, sur l'Allemagne et la Suisse d'autre part. Les appareils ont été mis entre les mains du personnel ordinaire de l'Administration, et les résultats sont excellents.

L'auteur annonce que d'autres essais sont en voie d'organisation, en particulier un essai de télégraphie multiplex et téléphonie simultanée sur ligne aérienne entre Paris et Lyon. Il indiquera les résultats obtenus à une prochaine séance de la Section.

D'ores et déjà, les différents systèmes de télégraphie multiplex, et en particulier le système de la Société d'Etudes pour liaisons Téléphoniques et Télégraphiques à longue distance, sont capables d'assurer sur un seul circuit l'écoulement d'un trafic considérable et se prêtent facilement à l'utilisation des appareils télégraphiques les plus rapides.

M. Toulon présente une communication sur : *les perfectionnements aux triodes à gaz et aux relais à arc.*

Depuis que De Forest eut en 1913, l'idée géniale de contrôler électrostatiquement le courant circulant entre un filament chauffé et une anode dans un tube à vide, l'attention des techniciens a été attirée presque uniquement vers les ampoules à vide très poussé, dans lesquelles le courant est transporté à peu près uniquement par un flux d'électrons.

Cette orientation s'explique tout naturellement par la nature des premières applications que reçurent les triodes. La lampe à trois électrodes apportait à la T.S.F., dans la génération, la réception et l'amplification des fréquences élevées, des ressources inespérées, qui devaient, en quelques années, révolutionner toute la technique des radio-communications.

Des progrès extrêmement remarquables ont été obtenus ces derniers temps dans la fabrication des triodes, notamment en ce qui concerne l'augmentation du pouvoir émissif du filament, et dans l'appropriation des courbes caractéristiques des lampes à chaque application particulière.

Mais, si l'emploi de triodes à vide presque parfait est indispensable toutes les fois qu'il est nécessaire de pouvoir suivre des fréquences très élevées (10^6 p : s par exemple) ou de maintenir une proportionnalité

Digitized by Google

presque rigoureuse entre la tension grille et le courant plaque, il n'en est pas de même lorsqu'on désire simplement réaliser un relais.

Ce problème qui se présente fréquemment dans la technique des communications à distance, peut, à notre avis, être résolu beaucoup plus facilement à l'aide de triodes à milieu gazeux et l'emploi de triodes à vide devient dans ce cas un luxe et cela pour les motifs suivants : Les triodes à milieu gazeux, à grille intérieure ou extérieure, permettent d'obtenir des courants beaucoup plus intenses, fonctionnent avec des tensions d'alimentation beaucoup plus faibles, ont un rendement et un pouvoir amplificateur beaucoup plus élevés. Ce résultat est la conséquence de l'ionisation du gaz, et permet le passage de courants très importants, avec une faible chute de tension interne. L'énergie requise pour déclancher cette ionisation est minime par rapport à l'énergie recueillie. Ces triodes à gaz jouent un rôle analogue aux interrupteurs, avec cette différence remarquable, que, ne comportant aucune pièce mécanique, ils permettent de suivre des phénomènes beaucoup plus rapides et de contrôler des courants intenses sans étincelles.

L'emploi de gaz raréfié est d'ailleurs déjà répandu à l'heure actuelle. On peut ranger ces applications en deux catégories :

1° Les ampoules dans lesquelles la pression du gaz ou l'intensité du courant débité sont suffisamment faibles pour ne pas modifier sensiblement la proportionnalité entre le courant et le flux d'électrons émis par la cathode, ou contrôlé. C'est le cas, notamment, de certaines lampes de T.S.F. utilisées pour la détection, lampes systématiquement mal vidées. C'est le cas également des cellules photo électriques, où l'emploi d'argon à très faible pression permet d'augmenter très notablement le courant photo-électrique. (Présentation d'une cellule S.R.P.I.)

2° Les ampoules dans lesquelles la pression du gaz a une valeur relativement élevée, et où le passage du courant provoque l'amorçage, soit d'une effluve, soit d'un arc entre les électrodes. L'arc est caractérisé par une chute de tension très faible entre les électrodes, très inférieure au potentiel avant l'éclatement. Nous trouvons des exemples d'effluves dans les lampes veilleuses au néon, les parafoudres téléphoniques (présentation d'un parafoudre S.R.P I.). Nous trouvons des exemples d'arcs dans les tungar, les lampes à arc au tungstène, les redresseurs à mercure, les relais à arcs, etc.. Dans l'un ou l'autre de ces types d'appareils, le contrôle du courant circulant entre les deux électrodes peut être obtenu électrostatiquement.

Ce phénomène est extrêmement général. C'est seulement la fréquence

Digitized by Google

d'utilisation, la tension minimum et maximum limites qui varient suivant les cas

Dans le cas des triodes à vide, le contrôle du courant peut être obtenu également au moyen d'un champ électromagnétique Dans le cas des ampoules à gaz, ce mode de contrôle est plus difficile à réaliser mais on peut, par exemple, provoquer l'amorçage de l'arc à l'aide d'une tension auxiliaire instantanée très élevée.

L'amorçage de l'arc dans un tube à gaz par dépassement instantané du potentiel disruptif, permet de déclancher des puissances extrêmement importantes et qui peuvent se chiffrer par centaines de kilowatts, alors que quelques watts suffisent pour assurer ce déclanchement. Il y a donc amplification ou relayage.

Si l'allumage de l'arc est un phénomène brutal et discontinu, il ne faut pas croire que la modulation soit impossible avec ce type d'appareils. En effet, en alimentant l'ampoule en courant alternatif, la phase de la tension de l'organe de contrôle peut, si on la fait varier, faire varier progressivement le courant débité. On peut même obtenir, dans certaines conditions, une proportionnalité à peu près complète entre une tension auxiliaire convenablement choisie, et le courant d'anode.

Le contrôle par grille intérieure fonctionne en régime permanent; le contrôle par gaine extérieure au contraire, n'est applicable qu'avec une tension d'alimentation alternative, mais la réalisation pratique des appareils est alors grandement facilitée. La description complète des relais à arc, c'est-à-dire des convertisseurs à mercure munis de gaine de contrôle a été donnée dans le *Journal de Physique* et le *Radium*, septembre, octobre 1924 (Série VI, T. V. nos 9-10, p. 257-268, 289-303). Il est donc inutile de la rappeler.

Avec les ampoules à mercure, l'amplification peut atteindre 10 et le courant débité, plusieurs centaines d'ampères avec des tensions de plus de 10 000 V. A la fréquence de 50 p : s, le courant de contrôle ne dépasse pas 10-5 A. Si les dimensions du tube sont convenablement calibrées, le relais peut suivre des fréquences atteignant 10^6 p : s.

L'emploi de courants aussi intenses, et de fréquences aussi élevées est absolument inutile en télégraphie. Une puissance de quelques watts suffit largement à la plupart des appareils d'inscription, ou des télécommandes. A la demande de la Section technique de l'Aéronautique et de la Radiotélégraphie Militaire, nous avons étudié des appareils à filament chauffé, qui présentent des propriétés analogues aux relais à mercure, mais sont beaucoup plus légers et d'un emploi beaucoup plus pratique pour les faibles puissances.

Digitized by Google

La cathode, au lieu d'être constituée par la surface ionisée du mercure, est réalisée, comme dans les redresseurs Tungar par un filament de tungstène porté à très haute température. Cette cathode suffit néanmoins à permettre le passage de plusieurs ampères dans l'ampoule. La chute de tension y est presque toujours inférieure à 20 V lorsque l'arc est allumé. La pression de l'argon utilisé est généralement de l'ordre de quelques centimètres de mercure.

Si l'on emploie une gaine extérieure au tube, on peut contrôler facilement, avec quelques volts appliqués sur la gaine, des courants de plusieurs ampères à la fréquence de 50 p : s. L'emploi d'un étranglement au voisinage de l'arc, permet d'augmenter la sensibilité. On peut suivre ainsi des fréquences allant au maximum jusqu'à 300 p : s. Pour des fréquences plus élevées, si l'on veut maintenir une pression de gaz élevée dans le tube, il est nécessaire de recourir à la grille de contrôle intérieure. On peut alors suivre des fréquences dépassant 1 000 p : s, ce qui est actuellement le maximum dont on ait besoin en télégraphie, dans l'état actuel de la technique (Présentation d'ampoules à gaine extérieure et à grille intérieure, construites par la Compagnie des Lampes).

L'emploi de ces tubes est extrêmement simple. Par exemple pour une ampoule destinée à fonctionner sous 50 p : s 110 V, il suffit d'un transformateur abaisseur de tension pour le chauffage du filament, et d'un système donnant une tension en opposition pour l'extinction du tube. L'ensemble peut être établi dans des conditions de volume et de poids extrêmement restreintes. (Présentation des appareils construits par la Société des Relais à arc). La sensibilité de ces relais est considérable : il suffit d'un courant de l'ordre de 10^{-5} A pour déclancher une centaine de watts.

Une expérience suggestive consiste à relier la gaine à un pendule mobile, capable en se déplaçant, de venir alternativement en face d'une plaque reliée en phase, et d'une plaque reliée en opposition avec l'anode, La très faible capacité entre le pendule et la plaque suffit à modifier son potentiel et sa variation contrôle à distance et sans aucun contact. le courant débité par le tube. (Présentation de l'expérience).

Les applications de relais aussi puissants et simples sont innombrables en télégraphie, télémécanique, téléphotographie, télévision, etc.

Digitized by Google

6e SECTION — RECHERCHES ET MESURES

Président : M. LIÉNARD.

SÉANCE DU 26 MARS 1927. — *a) Programme de la semaine d'octobre* 1927.

Les questions suivantes sont mises à l'ordre du jour.

1° Essais des câbles à très haute tension. Résultats de la discussion qui interviendra à la prochaine conférence des grands réseaux, M. DE LA GORCE.

2° Echauffements et densités de courants admissibles dans les fils et câbles isolés au caoutchouc ; influence de l'échauffement sur les propriétés mécaniques et électriques de l'enveloppe en caoutchouc ; essais de vieillissement ; exposé des travaux les plus récents sur la matière.

Présentation d'un audiomètre

par M. DELVAUX, Ingénieur à la Société : le Matériel Téléphonique.

Considérations Générales. — L'audiomètre a été réalisé à la suite de recherches systématiques entreprises pour déterminer les caractéristiques de l'audition et faire bénéficier des renseignements obtenus la technique téléphonique. Cet appareil permet de mesurer la sensibilité de l'oreille aux sons de différentes fréquences. C'est, en principe, un générateur de sons purs d'intensité connue et réglable.

Depuis longtemps, la détermination de cette sensibilité a préoccupé les savants, car elle présente une grosse importance tant au point de vue scientifique pur qu'au point de vue médical.

Il semblerait, à première vue, plus simple d'utiliser dans ce but des méthodes purement acoustiques. C'est d'ailleurs celles-ci qui sont généralement employées dans les examens médicaux, où un diapason ou une sirène fait l'office de source sonore. Une telle méthode manque de rigueur scientifique et surtout ne permet que des mesures relatives prises par rapport à l'oreille de l'examinateur. En effet, si l'on sait facilement produire un son par des moyens purement mécaniques, on ne peut en réduire l'intensité dans un rapport exactement connu. Dans les tuyaux sonores, en particulier, la variation de la pression du vent modifie le mode de vibration et l'intensité des harmoniques.

Digitized by Google

Devant ces inconvénients, il était naturel de profiter des possibilités que procure l'emploi de l'électricité dont le plus grand avantage est certainement la facilité de commande.

Caractéristiques de l'oreille. — Avant de décrire l'appareil, il paraît utile d'exposer les résultats obtenus par son emploi. Il suffit, pour l'instant, de savoir que l'audiomètre permet d'appliquer sur le

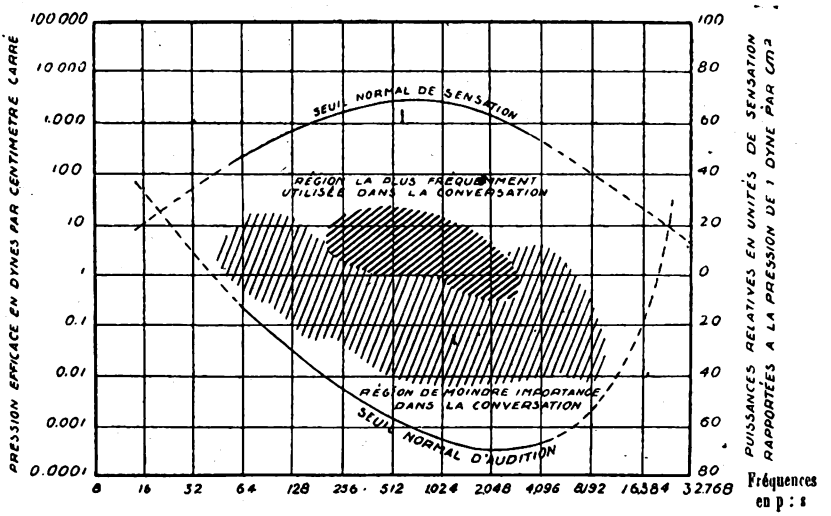


Fig. 4. — Diagramme de l'oreille normale.

tympan une variation de pression alternative de valeur efficace connue, à une fréquence déterminée.

Portons en abscisses (fig. 4) les fréquences en périodes par seconde et, en ordonnées, les pressions en dynes par cm². Pour des raisons qui seront exposées plus tard, on utilisera des échelles logarithmiques. Dans ce qui suivra, ce qu'on appellera l'intensité du son sera caractérisé uniquement par la valeur efficace de la variation de pression appliquée sur le tympan. Produisons un son d'une fréquence déterminée dont nous augmentons l'intensité à partir d'une valeur très faible caractérisée par le point A. Au début, aucun son n'est perçu, le point correspondant se trouve dans la zone AB ; lorsque la pression efficace atteint une certaine valeur, l'audition commence : le point correspondant B est le seuil d'audition, à la fréquence considérée, pour l'oreille examinée.

Si on augmente l'intensité du son, l'audition est de plus en plus confortable, puis devient, pour de très fortes intensités, désagréable pour faire place à une sensation tactile ; le point D où apparaît celle-ci correspond au seuil de sensation pour la fréquence considérée,

Digitized by Google

Nous avons donc défini, par rapport à l'intensité, et à fréquence constante, deux seuils : le seuil d'audition et le seuil de sensation. Si on répète la mesure pour différentes fréquences en réunissant les points correspondants, on obtiendra la courbe de seuil d'audition d'une part et celle de seuil de sensation d'autre part.

Ces mesures ont été répétées sur une centaine de sujets réputés normaux. Les courbes obtenues avaient toutes la même allure. Une courbe moyenne fut tracée et fut prise comme caractérisant l'audition d'une oreille fictive, dire oreille normale. Ce sont les courbes relatives à cette oreille moyenne qui sont portées sur la figure. On remarquera que les deux courbes de seuil se coupent vers 20 et 20 000 p : s. Ces points peuvent donc être pris comme les limites extrêmes d'audition pour l'oreille normale. En effet, au delà de ces limites, la sensation tactile apparaît avant la sensation auditive et masque par conséquent celle-ci.

La sensibilité de l'oreille normale est maximum entre 1 000 et 4 000 p : s, mais pour les sons de 32 p : s, il faut une intensité 10 000 fois plus grande pour qu'il y ait audition.

Enfin, la courbe de seuil de sensation est sensiblement la même pour toutes les oreilles. Sans empiéter sur le domaine médical, on peut penser que cette sensation tactile, qui se superpose, en la masquant, à la sensation auditive, résulte de l'action des ondes sonores sur l'oreille externe et n'est donc pas affectée par la surdité qui se produit dans l'oreille interne ou moyenne. Les pressions correspondant à cette sensation tactile sont du même ordre de grandeur que celles qui la produisent sur d'autres parties du corps.

La figure donne, en somme, l'étalonnage en valeur absolue de l'oreille normale, les pressions correspondant aux seuils pour chaque fréquence étant exprimées en unités C G S, en dynes par centimètre carré. Ces valeurs sont extrêmement intéressantes pour les études du mécanisme de l'audition. Toutefois, l'audiomètre, sous la forme où il est réalisé, est destiné à la pratique courante des mesures d'audition ; c'est pourquoi il a été jugé préférable d'effectuer des mesures relatives et rapportées précisément à la courbe de sensibilité de l'oreille normale. Les écarts entre la sensibilité de l'oreille examinée et celle de l'oreille normale seront exprimés en unités de sensation, unités logarithmiques dont il est bon de dire quelques mots.

On sait qu'en technique téléphonique on a reconnu depuis longtemps les avantages d'une unité logarithmique pour évaluer les affaiblissements en ligne, qui ont une allure exponentielle. Ces unités

Digitized by Google

sont : le mille de câble standard, aujourd'hui abandonné, le β1 et l'unité de transmission. Le β1 est basé sur les logarithmes népériens, l'unité de transmission sur les logarithmes décimaux. La définition de cette dernière unité est la suivante, appliquée au cas qui nous occupe :

Etant donné deux puissances P_1 et P_2, le nombre d'unités qui les sépare est égal à 10 fois le logarithme décimal de $\frac{P_2}{P_1}$.

Si, au lieu d'un rapport de puissances, on prend un rapport de différences de potentiel sur une même impédance, le nombre d'unités de transmission est égal à 20 fois le logarithme décimal de ce rapport. Par analogie avec cette unité de transmission, on a créé une unité de sensation qui est reliée de la même manière respectivement au rapport des puissances vibratoires, et au rapport des variations de pression. Par exemple, si, à une certaine fréquence, le seuil d'audition de l'oreille examinée correspond à une pression 10 fois supérieure à celle de l'oreille normale, l'oreille examinée sera dite être inférieure de 20 unités de sensation à l'oreille normale.

Sur le diagramme de sensibilité de l'oreille, on a porté à gauche une échelle d'intensités graduée en unités de sensation à partir de la pression de 1 dyne par cm^2 qui correspond donc au zéro, mais ce zéro peut être pris de façon arbitraire et fixé à n'importe quelle valeur de la pression.

Parmi les autres caractéristiques de l'oreille, il est bon de signaler les suivantes :

Deux sons, dont les fréquences sont double l'une de l'autre, produisent sur l'oreille des sensations presque identiques. D'autre part, si l'on étudie le pouvoir séparateur de l'oreille par rapport à la fréquence, on constate qu'entre 500 et 8 000 p : s la plus petite différence relative perceptible $\frac{\Delta N}{N}$ est de 3/1000, soit environ 1 savart.

De même, deux sons de même fréquence, dont les intensités sont différentes, ne sont perçus comme deux sons distincts que si la différence relative $\frac{\Delta E}{E}$ des énergies est supérieure à une valeur limite. Celle-ci est de 0,1, soit une demi-unité de sensation pour des sons qui sont à 50 unités de sensation ou plus au-dessus du seuil d'audition, et augmente pour des sons plus faibles.

Ces caractéristiques ont conduit à utiliser des échelles logarithmiques, tant pour les fréquences que pour les pressions. Elles permettent d'avoir des diagrammes facilement lisibles malgré les variations considérables des valeurs à représenter.

Digitized by Google

Sur le diagramme, chaque point correspond à un son pur caractérisé par son intensité et sa hauteur. Un son pur ne sera distingué d'un autre, voisin, que si, soit leur intensité, soit leur hauteur diffèrent entre elles d'une valeur supérieure aux différences relatives minima indiquées plus haut.

Il est possible de calculer le nombre total de sons purs que l'oreille normale peut entendre comme sons distincts. Ce sont tous les points compris entre les courbes de seuil, séparés entre eux par les différences relatives limites. Ces sons sont au nombre d'environ 300 000.

Toutefois, la zone la plus utilisée dans la conversation est celle couverte de hachure renforcées.

Description de l'audiomètre 1 — A. — L'audiomètre type « Western Electric » (fig. 5) se compose essentiellement d'un générateur électrique à fréquence variable, d'un potentiomètre d'atténuation gradué en unités de sensation, et d'un récepteur téléphonique spécial. Son fonctionnement repose sur la proportionnalité qui existe, à fréquence constante, entre le courant circulant dans l'enroulement du récepteur et la pression produite par celui-ci dans un espace de dimensions données. (Cette proportionnalité ne subsiste d'ailleurs que jusqu'à une pression et un courant limites au delà desquels le récepteur est dit « surchargé » et où il introduit de la distorsion). Par conséquent, il suffira de lire, sur le potentiomètre, l'atténuation du courant pour avoir immédiatement le nombre d'unités de sensation dont on a diminué l'intensité du son.

Toutefois, cette intervention de l'électricité, si elle apporte un moyen de réglage idéal de l'intensité du son, exige que l'on respecte certaines précautions. Les harmoniques sont très gênants pour les mesures faites sur les fréquences basses ; en effet, on voit que l'harmonique peut très bien être entendu plus fort que le son fondamental, par exemple, le seuil d'audition à la fréquence 32 p : s correspond à 3 dynes par cm^2 ; celui de l'harmonique à 64 p : s correspond à 0,25 dyne par cm^2. Il faut donc que l'amplitude de l'harmonique soit moins du 10e de celle de la fondamentale. Ces harmoniques peuvent être produits, soit dans le générateur d'oscillations, soit dans le récepteur.

D'autre part, dans les récepteurs ordinaires, la membrane présente des résonances très marquées pour certaines fréquences. Les constantes masse et élasticité de la membrane sont pratiquement invariables, mais on sait que pour la fréquence de résonance, l'impédance de la membrane se réduit à l'amortissement. Celui-ci peut

Digitized by Google

varier beaucoup selon les conditions de fonctionnement du récepteur, rendant illusoire tout étalonnage précis de l'appareil.

Enfin, il faut que l'amplitude des oscillations produites par le générateur reste constante, sous peine de fausser les mesures.

Voici comment ces difficultés ont été combattues dans l'audiomètre :

Les oscillations sont produites au moyen d'un tube à 3 électrodes et amplifiées par un second tube. La capacité et l'inductance du circuit oscillant sont réglées par un commutateur à 20 plots qui permet d'obtenir toutes les fréquences de 32 à 16 384 p : s par 1/2 octave. Un voltmètre et un ampèremètre servent à contrôler les conditions de fonctionnement des tubes et permettent de les maintenir dans les limites convenables.

On assure ainsi la constance de l'amplitude des oscillations. Les tubes sont d'un modèle spécial, utilisant un filament à oxydes, et de caractéristiques rigoureusement définies. Des tubes de ce modèle sont en fonctionnement depuis plus de 40 000 heures sur des relais téléphoniques.

Le circuit est établi de façon à ne pas produire sensiblement d'harmoniques, grâce à l'emploi d'un circuit à grande impédance dans la plaque, le couplage à la grille étant maintenu faible.

Les oscillations sont transmises par le second tube au potentiomètre étalonné qui est constitué par des arrangements de résistances à inductance et capacité négligeables. Chaque plot du potentiomètre correspond à une différence de 5 unités de sensation avec les plots voisins, soit un rapport de puissance de 3,2 ; le rapport correspondant des pressions ou des courants est d'environ 1,8.

Une clé permet d'introduire une atténuation supplémentaire de 50 unités de sensation qui accroît d'autant l'étendue de réglage du potentiomètre. Deux autres clés, à droite, servent : l'une à mettre en service le récepteur droit ou gauche à volonté, l'autre à éviter la transmission de sons parasites de fréquence basse au moment des mesures sur les fréquences élevées. Un interrupteur permet de couper à volonté le courant.

Les récepteurs sont d'un type spécial où la membrane a été amortie très énergiquement : l'amortissement obtenu est très constant et indépendant des conditions de fonctionnement du récepteur. Il en résulte que la courbe de sensibilité du récepteur en fonction de la fréquence ne présente plus de pointes sensibles. Des mesures très complètes ont permis de tracer avec précision l'étalonnage du récepteur ainsi

Digitized by Google

amorti, exprimé par le rapport pression/courant en fonction de la fréquence. Cet étalonnage a été affecté au moyen du microphone à condensateur dont la sensibilité est elle-même connue très exactement.

Le cadran du potentiomètre est gradué en unités de sensation. Il se déplace devant une série de repères correspondant chacun à une des fréquences que peut donner l'appareil. La position de ces repères a été déterminée en fonction, tant de l'étalonnage du récepteur, que de la courbe de sensibilité de l'oreille normale, de façon que, lorsque le zéro du cadran du potentiomètre se trouve en face du repère de la fréquence sur laquelle on fonctionne, la pression produite par le récep-

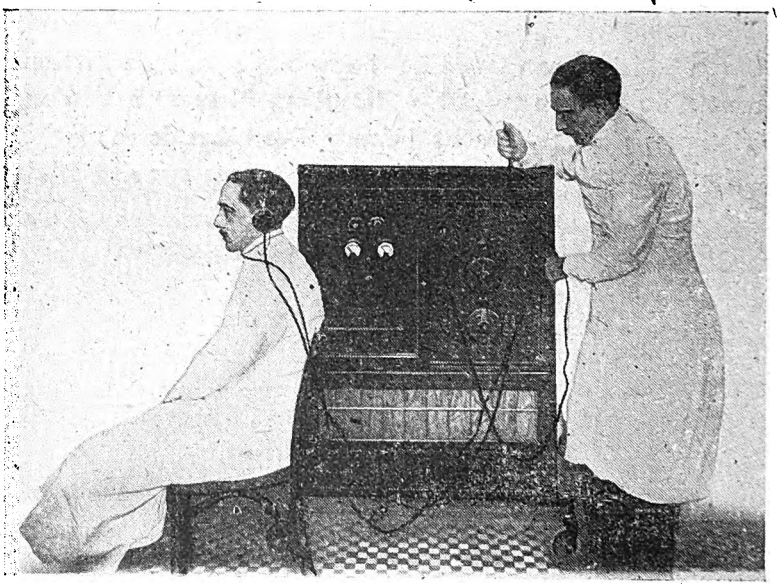


Fig. 5. — Vue de l'audiomètre.

teur sur le tympan est précisément celle correspondant au seuil d'audition de l'oreille normale à la fréquence considérée.

Mode opératoire. — Le mesure se fera donc de la manière suivante :

Le récepteur étant appliqué sur l'oreille, on règle la fréquence à la valeur désirée. Il est bon de donner, au début, une intensité assez forte, de façon que le patient identifie bien le son. L'intensité est réduite jusqu'à ce que la personne examinée signale qu'elle n'entend plus. A ce moment, on laisse reposer l'oreille en interrompant le courant ; on constate, en général, qu'elle entend à nouveau quand on rétablit le son. On peut donc encore réduire l'intensité jusqu'à ce

Digitized by Google

qu'on arrive au seuil d'audition ; pour obtenir celui-ci avec plus de précision, on établit et interrompt successivement le courant, afin de profiter de l'effet de contraste. Le seuil d'audition de l'oreille examinée étant obtenu, on lit sur le cadran la division en face du repère de la fréquence de l'essai.

Le nombre lu sur le cadran exprime la différence, en unités de sensation, entre l'oreille examinée et l'oreille normale ; on le reporte sur une feuille et la réunion des points obtenus constitue l'audiogramme de cette oreille. Un audiogramme est indiqué pour exemple (fig. 6).

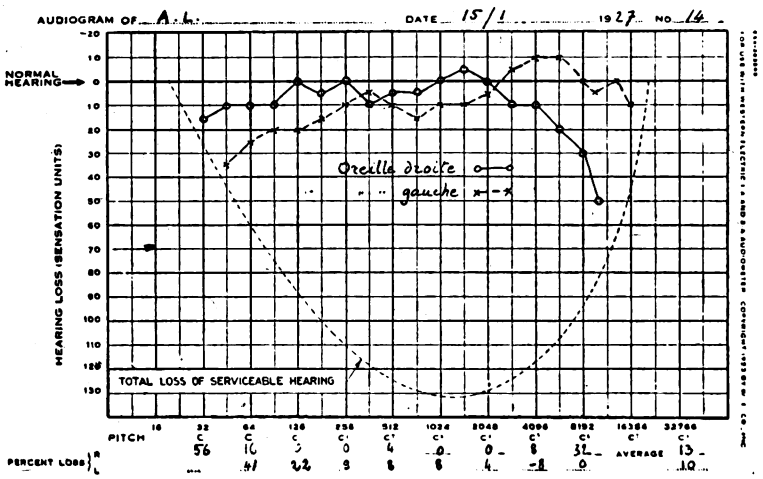


Fig. 6. — Audiogramme.

Afin d'éviter les erreurs, il est indispensable d'observer certaines précautions.

Le récepteur doit être bien appliqué sur l'oreille, car la membrane doit travailler sur une cavité étanche et de dimensions définies. Cette remarque s'applique surtout aux fréquences basses.

Le patient doit être isolé des bruits extérieurs, afin que rien ne le trouble ; il signale l'audition au moyen d'une lampe électrique. Il est d'ailleurs possible de placer le patient dans une salle différente où il sera mieux à même de concentrer son attention sur les sons.

L'interrupteur, manœuvré par l'examinateur à l'insu du patient, permet de contrôler la sincérité de celui-ci.

Résultats. — A condition d'observer ces précautions, les résultats obtenus au moyen de l'audiomètre sont tout à fait précis et stables. La forme de l'audiogramme apporte de précieux renseignements au

Digitized by Google

médecin sur la cause de la surdité et lui permet de suivre avec précision l'effet des traitements prescrits. Cet appareil est actuellement utilisé par le Dr Le Mée dans son service, à l'Hôpital des Enfants Malades; il a permis d'entreprendre des recherches très intéressantes qui sont encore en cours.

Une application importante de cet appareil réside dans les examens professionnels, lorsqu'il y a lieu d'éliminer les candidats dont la surdité serait un danger ou une gêne publics. Ce sont les téléphonistes, les conducteurs de véhicules de transport en commun, etc... Dans plusieurs pays déjà, l'audiomètre est en service régulier pour ces examens.

Aux Etats-Unis, de nombreux médecins spécialistes de l'oreille se servent couramment de l'audiomètre pour examiner régulièrement leurs malades. Par ailleurs, des mesures systématiques faites dans les écoles ont démontré que 14 pour cent des élèves étaient plus ou moins sourds, sans que leur entourage l'ait constaté. Ces sourds étaient classés comme paresseux. Ces mesures sont réalisées au moyen d'un audiomètre d'un type particulier. Il comprend un reproducteur phonographique électrique et le nombre voulu de récepteurs téléphoniques. Un disque phonographique spécial permet de faire entendre des séries de chiffres d'une intensité décroissante, selon une loi connue : les enfants inscrivent tout ce qu'ils peuvent entendre et l'examen des listes permet de classer les élèves d'après leur ouïe.

Il va sans dire que ce mode d'examen convient pour une première sélection, mais ne suffirait pas pour suivre les effets d'un traitement ; dans ce cas, c'est l'audiomètre qu'il y a lieu d'utiliser.

On a vu précédemment que chaque son pur correspond à un point sur le diagramme pression-fréquence. Pour les fréquences et les intensités usuelles dans la conversation, le pouvoir séparateur de l'oreille est pratiquement constant, tant pour les fréquences que pour les intensités. D'autre part, le seuil de sensation est pratiquement le même pour toutes les oreilles normales ou anormales. Si donc on trace l'audiogramme d'une oreille malade dans le diagramme pression-fréquence, la courbe de seuil d'audition sera au-dessus de celle de l'oreille normale, d'où réduction de la surface comprise entre les deux courbes de seuil. Du fait de la constance approximative du pouvoir séparateur de l'oreille, la réduction du nombre de sons purs perceptibles séparément est proportionnelle à la réduction de la surface de la zone utile.

Sur les cartes d'audiogrammes se trouvent, pour chaque fréquence,

Digitized by Google

des cases permettant d'inscrire le pourcentage de perte d'audition pour cette fréquence.

La moyenne de ces nombres constitue le pourcentage moyen de perte d'audition et correspond approximativement à la réduction dans le nombre de sons purs séparément perceptibles. On considérera la fraction obtenue comme correspondant au degré de surdité.

En résumé, l'audiomètre s'est révélé un appareil extrêmement intéressant, tant au point de vue des examens médicaux que des recherches sur le mécanisme de l'oreille. Il constitue l'instrument le plus précis et le plus commode qui ait été jusqu'ici réalisé dans ce but, et son emploi se développera certainement de plus en plus dans le laboratoire comme dans la clinique.

Mesure de la valeur maxima des tensions alternatives inférieures à 10 000 V, par M. DE LA GORCE.

L'éclateur à sphères qui sert couramment pour la mesure de la valeur maximum des tensions alternatives élevées, devenant inutilisable au-dessous de 10 000 V, il faut recourir à d'autres dispositifs. Plusieurs méthodes peuvent être envisagées : la méthode de Palm, basée sur l'observation d'un tube à luminescence connecté aux bornes d'un condensateur variable, monté lui-même en série avec un condensateur fixe ; la méthode de Chubb qui mesure à l'aide d'un milliampèremètre à courant continu et d'un double système de diodes montés en sens inverse le courant de charge d'un condensateur ; enfin la méthode de Sharfs et Doyle, dans laquelle on relie la différence de potentiel à mesurer aux deux extrémités d'un circuit constitué par un condensateur et un diode montés en série. Si un électromètre est connecté aux bornes du condensateur, il mesure la tension maximum cherchée.

Des trois procédés, le dernier paraît le plus simple et le plus commode d'emploi. Il importe toutefois de rechercher les conditions nécessaires pour qu'il fournisse des indications rigoureusement correctes. L'équilibre du système est obtenu quand il y a compensation entre la quantité d'électricité perdue par défaut d'isolement du condensateur, et celle qu'il reçoit dans le même temps à travers le diode. De là une équation qui fixe pour un diode de caractéristique déterminée, la résistance d'isolement minimum qu'il faut imposer au condensateur pour obtenir une approximation suffisante dans la mesure de la tension maximum. Cette approximation étant, par exemple, de 1 pour cent, la tension en jeu étant de 10 000 V et la capacité de 0,01

Digitized by Google

microfarad, celle-ci devra présenter un isolement d'au moins 200 mégohms. Ce calcul suppose la tension sinusoïdale. Si la forme de courbe est plus aigüe, un isolement plus élevé est nécessaire. Pratiquement, on s'assure que les conditions requises sont remplies en modifiant (entre certaines limites) le courant de chauffage du diode. Cette variation ne doit pas changer la lecture à l'électromètre.

Il y a lieu de remarquer que, pour certaines applications, un isolement trop parfait peut être nuisible. Dans ce cas en effet, l'aiguille de l'électromètre se fixe bien à la valeur maximum de la tension alternative étudiée, mais si celle-ci vient à diminuer, l'instrument ne suit qu'avec lenteur. A ce point de vue, il serait préférable, si on utilise un condensateur de 0,01 μf, de limiter son isolement à 10 000 ou 15 000 mégohms.

Des applications pratiques de la méthode ont été faites, au Laboratoire Central d'Electricité, pour l'étude de courbes de tensions déformées, de valeur efficace comprise entre 10 000 et 15 000 V. Les résultats concordent à moins de 1,5 pour cent avec les indications fournies par les relevés oscillographiques.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ [1]

PRODUCTION ET UTILISATION GÉNÉRALE DE L'ÉLECTRICITÉ

Transformateurs de puissance. Calculs, constructions. Applications industrielles. -- Bobines d'inductance, par MARCEL MATHIEU, Ingénieur (A. et M., E. S. E.), Ingénieur à la Société française des régulateurs universels « Arca ». — Paris, Librairie scientifique Albert Blanchard. 1927 ; un vol. broché $20^{cm} \times 12^{cm}$, de 305 pages, avec 84 figures dans le texte et 31 figures hors texte. (« Nouvelle Encyclopédie Electro-Mécanique », publiée sous la direction de M. E. PACORET, Ingénieur-Electricien. Tome I). — (Don de l'éditeur).

La transformation de l'Energie électrique. — Tome I : Transformateurs, par RENÉ CARTON, Ingénieur E. M. I. et PIERRE DUMARTIN, Ingénieur A. et M., I. E. G. — Préface de G. DARRIEUS. — Paris, Librairie Armand Colin, 1926 ; un vol. broché $17^{cm},5 \times 10^{cm},5$, de 217 pages, avec 89 figures et un frontispice (« Collection Armand Colin », Section de Mécanique et Electricité industrielles, n° 78). (Don de l'éditeur).

CHIMIE ET ÉLECTROCHIMIE. — ELECTROMÉTALLURGIE. PILES ET ACCUMULATEURS.

Principes de l'Electrochimie, par J. PONSINET, Ingénieur des Manufactures de l'Etat. — Paris, Librairie Armand Colin, 1927 ; un vol. broché $19^{cm} \times 11^{cm}$, de 215 pages, avec 35 figures. (« Collection Armand Colin », Section de Physique, n° 87). — (Don de l'éditeur).

ANNUAIRES. SOCIÉTÉS. SYNDICATS.

American Institute of Electrical Engineers. Year Book 1927. — Published by American Institute of Electrical Engineers, New-York, 1927 ; un vol. cartonné toile $23^{cm} \times 15^{cm}$, de 594 pages, avec 1 gravure hors texte. (Don de l'American Institute).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Electriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours sauf le Dimanche.

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

CANALISATIONS. — DISTRIBUTION GÉNÉRALE. — TRACTION.

Traction électrique des grandes lignes, par A. MAUDUIT. — *Boletin do instituto de Engenharia* de Sao Paulo (Brésil).

La brochure publiée par l'Institut Franco-Paulista de Sao Paulo, reproduit les conférences faites à l'Ecole Polytechnique de Sao Paulo par M. Mauduit, professeur à l'Institut Electrotechnique de Nancy sur la « Traction électrique des grandes lignes ».

Dans ces quelques leçons, M. Mauduit a su présenter une question complexe sous une forme particulièrement concise et élégante, la richesse de la documentation, ne nuisant jamais à la clarté de l'exposé.

M. Mauduit étudie d'abord, au point de vue purement technique, les divers systèmes de traction et il met en évidence les avantages et inconvénients de chacun d'eux; il montre ensuite dans quelles conditions la traction électrique pourrait être substituée avantageusement à la traction à vapeur et il passe enfin en revue les principales électrifications réalisées en Europe et en Amérique en monophasé, en triphasé et en continu haute tension.

Dans sa conclusion, M. Mauduit recommande très justement la plus stricte économie dans la conception et l'exécution des travaux « un luxe inutile, ou des « dépenses correspondant à des précautions exagérées, suffisant à transformer en « opération déficitaire une installation qui, économiquement organisée, aurait cons- « titué une affaire normale. »

Ces conférences constituent un complément fort intéressant au rapport de 1919 de M. Mauduit, rapport d'après lequel le système à courant continu haute tension a été choisi comme système unifié de traction pour les chemins de fer d'intérêt général de la France.

Safety rules for the operation of electrical equipment and lines. (Handbook series of the Bureau of Standards, n° 8) — Washington, Printing office, 1926, une brochure 19×13^{cm} (Don du Bureau of Standards).

La publication américaine n° 8, du bureau of standards, est relative aux prescriptions à suivre par le personnel de toutes catégories, chargé de l'exploitation et de l'entretien des lignes haute et moyenne tension, ainsi que des établissements, postes de transformation et sous-stations.

Ces règles sont précédées d'un préambule qui commente les expressions en usage, définissant la situation électrique des circuits et des organes.

On y trouve décrites en détail les obligations et responsabilités du personnel dirigeant, puis celles du personnel monteur, spécialisé ou manœuvre.

Le personnel dirigeant doit veiller à ce que chaque ouvrier possède un exemplaire ou un extrait des règles concernant son travail particulier, chaque ouvrier étant, en outre, parfaitement familiarisé avec les prescriptions et leur sens.

Le chef opérateur ou dispatcher doit être en permanence exactement renseigné sur tout ce qui se passe sur son réseau ou sur la partie du réseau dont il assume

Digitized by Google

la responsabilité. Des schémas ou diagrammes suffisamment détaillés, doivent indiquer à tous instants la situation de tous les organes.

Aucun agent ne doit exécuter un travail sans un ordre ferme du chef opérateur ou du dispatcher, qui doit être tenu au courant de l'instant de la fin du travail; des comptes rendus doivent lui parvenir à la fin de chaque travail.

A l'usage du chef opérateur, ces règles comprennent un tableau des distances à respecter entre les différents conducteurs, en fonction de la tension de service.

Elles définissent également les cas dans lesquels les agents ne doivent pas travailler seuls. Puis insistent tout particulièrement sur la nécessité de mettre en évidence, à l'aide de pancartes ou de panneaux parfaitement visibles, les dangers que présentent les installations, celles-ci devant toujours être considérées comme étant sous tension.

Viennent ensuite, sous forme de conseils avec commentaires, plutôt que d'ordres impératifs les obligations du personnel ouvrier sur :

a) *Exploitation des lignes.*

La façon dont l'ouvrier doit travailler quand il se trouve soit au-dessus, soit en dessous des lignes.

La façon d'équilibrer une échelle et de constituer un échafaudage avec stabilité

Interdiction d'employer des outils à manche conducteur.

Utilisation de lunettes, de ceintures, des griffes et crampons.

Prescriptions relatives aux fils tombés à terre.

Nécessité de mettre à la terre les conducteurs sur lesquels un travail s'effectue.

Protection des monteurs par l'ouverture préalable des sectionneurs, etc.

b) *Exploitation des sous-stations et postes.*

Précautions à prendre auprès des organes en mouvement ou sous tension.

Auprès des disjoncteurs et fusibles susceptibles de fonctionner.

Maniement des fusibles ou des pièces sous tension, travaux sur circuits de lampes en série.

Salles d'accumulateurs, présence de gaz dans les galeries, etc ..

Conseils communs à l'exploitation des lignes et des postes.

Soins d'urgence en cas d'accident de personne ou de matériel

Utilisation des appareils respiratoires et des appareils contre l'incendie; entretien de ces appareils.

Liste du personnel (ingénieurs ou médecins) à prévenir immédiatement en cas d'accident.

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

Réunion ordinaire mensuelle du mercredi 5 mai 1897.

M. Lasnier décrit le *système de traction électrique* inauguré depuis 6 mois, sur les lignes de la Madeleine à Courbevoie, Neuilly et Levallois.

Une station génératrice située à Puteaux, munie d'une batterie tampon, envoie le courant continu sous 600 V, par des feeders d'égale résistance à trois postes de charge en tête de chacune des lignes.

Les accumulateurs du type Tudor, sont à plaque positive Planté et à plaque négative Faure ; un avertisseur automatique signale la fin de la charge, dont la durée est de 8 à 13 minutes.

Les premiers essais en exploitation ont indiqué un rendement de 70 pour cent pour les accumulateurs et la ligne et une consommation variant de 545 à 840 Wh par voiture-kilomètre.

M. Hospitalier étudie les possibilités de réalisation des *automobiles électriques*. Il rappelle les conditions de fonctionnement mécanique d'un cheval employé à divers travaux, propose pour l'automobile le nom d'accumobile, signale les progrès réalisés par les pneumatiques, les accumulateurs, les moteurs électriques ; il établit qu'une provision d'énergie électrique de 8 kWh permet d'effectuer sans recharge un parcours journalier de 60 km, ce qui est suffisant pour le trafic urbain ; il dégage les caractéristiques que devra présenter l'accumobile, le prix de revient de la voiture-jour, il examine les méthodes de recharge et termine en résumant les avantages de l'accumobile sur les hippomobiles et sur les automobiles « essencielles ».

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE

COMPTES RENDUS DES RÉUNIONS :

Réunion ordinaire mensuelle du mercredi 1er juin, p. 600.
Admissions de membres titulaires, p. 600.
Distinctions aux membres de la Société, p. 602.

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS (1) :

Le champ magnétique au voisinage d'une ligne électrique à courants alternatifs (M. COLLET), p. 604. — L'évolution récente dans la construction du matériel roulant et l'équipement des tramways électriques (M. BACQUEYRISSE), p. 631.

INFORMATIONS DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS.

a) Principales décisions du Comité, en juin, p. 708.
b) Réunions du Conseil d'Administration et de l'Assemblée générale de la Société pour favoriser le développement du haut enseignement de l'électrotechnique en France, p. 708.
c) Remise de la Médaille Mascart à Sir J-J. Thomson, p. 708.

TRAVAUX DES SECTIONS :

Sommaire, p. 709. — Texte, p. 709.

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ, p. 724.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS, p. 725.

IL Y A TRENTE ANS, p. 726.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

4e série, tome VII, n° 70.

Digitized by Google

COMPTES RENDUS DES REUNIONS

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du Mercredi 1er Juin 1927.

La séance est ouverte à 20 h. 30.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

Il est donné connaissance des demandes d'admission suivantes :

Andriès (René-Emile), inspecteur divisionnaire au Service des Etudes Techniques à la S. T. C. R. P., 142, boulevard de Versailles, à Paris (16e). — Présenté par MM. Péridier et Alliaume.

Avenier (Jean-Léon), ingénieur, Compagnie Ouest-Lumière, 116, boulevard de Versailles, à Suresnes (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Baudot (Léon-Marie-Michel), ingénieur, Compagnie d'Electricité de l'Ouest-Parisien (Ouest-Lumière), 46, rue de Sablonville, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Beurier (André-Henri-Louis), ingénieur à la Société Gramme, 26, rue d'Hautpoul, à Paris. Domicile : 89, boulevard de l'Hôpital, à Paris (13e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Bigot (Raoul), ingénieur, 133, boulevard Péreire, à Paris (17e). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Bouillot (Jean), ingénieur E. C. P. et E. S. E. Stagiaire à la Compagnie française Thomson-Houston, 9, rue Ambroise-Paré, à Paris (10e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Breton (Raymond-Edme-Lucien), directeur pour le Sud-Ouest des Forges et Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont, 3 bis, cours de Tournon, à Bordeaux (Gironde). — Réadmission.

Breuil (Jacques), ingénieur à l'Ouest-Lumière, 3, quai National, à Puteaux. Domicile : 90, rue Truffaut, à Paris (17e). — Présenté par Aubert et George.

Chadefaud (Henri-Jean-Pierre), directeur général de la Porcelainerie Electrique de Pinon, 5, rue du Pré-aux-Clercs, à Paris (7e) ; Usine à Pinon (Aisne), Ingénieur E. B. P. — Présenté par MM. Grosselin et Jouvion.

Cottereau (Jean-Louis-Désiré-Michel), sous-ingénieur au Service Technique Central de la la C. P. D. E., 1, rue Auguste-Maquet, à Paris (16e). — Présenté par MM. Imbs et Malégarie.

Crayssac (Marcel-René-Paul), ingénieur à la Compagnie Ouest-Lumière, 3, quai National, à Puteaux. Domicile : 140, rue de Belleville, à Paris (20e). — Présenté par MM. Aubert et George.

Debièvre (Marcel-Henri), agent des Tréfileries et Laminoirs du Havre, Etablissements Rugles et Canalisation électriques réunis, 88 bis, rue de Tournai, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Lemay et Gosselet-Wilz.

Dumora (Jean-Albert-Octave), ingénieur attaché à la Direction de la Compagnie d'Electricité de l'Ouest-Parisien, 45, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Fraisse (André-Georges), ingénieur au Service commercial de la Compagnie Ouest-Lumière, 3, quai National, à Puteaux. Domicile : 2, cité Bergère, à Paris (9e). — Présenté par MM. Aubert et George.

Digitized by Google

Gage (André), ingénieur civil des Mines C. P. D. E., 70, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Ouen (Seine). — Présenté par MM. Imbs et Malégarie.

Gautheret (Raymond-Fernand), ingénieur à la Compagnie « Ouest-Lumière », à Puteaux (Seine). Domicile : 2, rue Casimir-Pinel, à Neuilly (Seine). — Présenté par MM. Aubert et Rabinovici.

Girard (Louis-Jean), ingénieur chef du Service Exploitation réseaux à la Compagnie Ouest-Lumière, 8, rue Merlin-de-Thionville, à Suresnes (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Girardin (Marc), directeur de l'usine Sud-Ouest de la C. P. D. E., à Issy-les-Moulineaux. Domicile : 30, rue Bara, à Issy-les-Moulineaux (Seine). — Présenté par MM. Imbs et Malégarie.

Grunberg (Georges), ingénieur à la Compagnie Ouest-Lumière, à Puteaux. Domicile : 42, avenue de la Dame-Blanche, à Fontenay-sous-Bois (Seine). — Présenté par MM. Aubert et Rabinovici.

Hamon (Michel-Georges-Marie-Joseph), ingénieur au Service commercial de la Compagnie Ouest-Lumière, 51, avenue de Saint-Cloud, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Aubert et George.

De Josselin (Henri), ingénieur, chef du Service commercial à la Compagnie Ouest-Lumière, 36, rue Cartault, à Puteaux (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Keraly (Jacques-André-Marie), chef du Service Force Motrice aux Forges et Aciéries de Dilling (Sarre). — Présenté par MM. Jouaust et de la Gorce.

Lagout (Henri), ingénieur à la Compagnie Ouest-Lumière, 3, quai National à Puteaux. Domicile : 11, rue de Saint-Cloud, à Suresnes (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Langlois (Richard), ingénieur aux Ateliers de Constructions Electriques de Jeumont (Nord). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Lebaillif (Almire-Charles), ingénieur électro-céramiste à la Porcelainerie de Pinon (Aisne). — Présenté par MM. Grosselin et Jouvion.

Lemaistre (Raymond-Charles-Louis), ingénieur à la Compagnie Ouest-Lumière, 146, rue de l'Université, à Paris (7e). — Présenté par MM. George et Villiers.

Levet (Pierre), ingénieur E. C. L., directeur agence de la Maison Brandt et Fouilleret de Paris. Bureau : 25, rue Cavenne, à Lyon (Rhône). Domicile : 30, rue Renan, à Lyon. — Présenté par MM. Rivière et Deyrat.

Marchand (Emile-Edouard-René), ingénieur à la Compagnie Ouest-Lumière, 20, quai Galliéni, à Suresnes (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Mathieu (Maurice-Julien), ingénieur chef à la C. P. D. E., 58, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Ouen (Seine). — Présenté par MM. Imbs et Malégarie.

Matigot (Marcel-Eugène), ingénieur aux Etablissements Brandt et Fouilleret, chef du département « Eclairage Rationnel », ingénieur-conseil, 11, rue Servandoni, à Paris (6e). — Présenté par MM. Jouvion et Guilbert.

Martin (Raymond), 20, rue Bara, à Issy-les-Moulineaux (Seine). — Présenté par MM. Imbs et Malégarie.

Nicollet (Henri), élève à l'Ecole supérieure d'Electricité, 8, rue Edme-Guillout, à Paris (15e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Ogloblinsky (Grégoire), ingénieur E. S. E., ingénieur chef du Service radio aux Etablissements Ed. Belin « Clos des Rosiers), l'Hermitage Le Pecq (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Toulon et Grosselin

Plantier (Georges-Siméon), ingénieur du Génie Rural 2e, impasse du Clos-Morin, n° 4, à Dijon (Côte-d'Or). — Présenté par MM. G. Bourdier et J. Rey.

Postweiler (Charles-Louis), ingénieur à la Compagnie Parisienne de distribution d'électricité, 58, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Ouen (Seine). — Présenté par Imbs et Malégarie.

Pras (Claude), ingénieur à la Société de Purification industrielle des Gaz, 29, rue Claude-Vellefaux, à Paris. Domicile : 26, rue Victorien-Sardou, à Colombes (Seine). — Présenté par MM. Toulon et Janet.

Rebois (Jean-Paul-Bernard), sous-ingénieur au Service technique central à la C. P. D. E., 15, avenue Bosquet, à Paris (7e). — Présenté par MM. Imbs et Malégarie.

Remon (Daniel-André), ingénieur à la Compagnie Ouest-Lumière, 83, rue Denfert-Rochereau, à Paris (14e). — Présenté par MM. Aubert et George.

Saglio (Albert-Victor), ingénieur au Chemin de fer d'Orléans, 35, rue Washington, à Paris (8e). — Présenté par MM. Arrighi de Casanova et Fallou.

Sandrenter (Paul-Jacques), ingénieur à l'Ouest-Lumière à Puteaux, 17, rue Anatole-France, à Puteaux (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Sartorio (Edouard-Antoine-Donatien), ingénieur-chef du Service Laboratoire de la Com-

Digitized by Google

pagnie Lorraine d'Electricité, 6, rue Erckmann-Chatrian, à Nancy (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM René H. et Mauduit.

Seguenot (Léon), ingénieur civil des Mines, directeur-adjoint des Services techniques de la Société Electro-Câble, bureau : 6, rue Cambacérès, à Paris (8e). Domicile : 33, rue Saint-Vincent, à Colombes (Seine). — Présenté par MM. Tribot-Laspière et Mathivet.

Steinmann (Henri-Léon), ingénieur-électricien diplômé de l'Institut électrotechnique de Nancy, 15, rue Chanzy, à Courbevoie (Seine). — Présenté par MM. Aubert et Groselin.

Taffoureau (Edgar-Eugène), ingénieur-conseil, 27, avenue du Bel-Air, à Paris (12e). — Présenté par MM. Janet et Guilbert.

Texier (Daniel), administrateur directeur-général de la Manufacture des Machines auxiliaires pour l'électricité et l'industrie, 9, rue Edith-Cavell, à Bécon-les-Bruyères (Seine). — Présenté par MM. Aubert et Grosselin.

Torresi (Fr nçois-Simon-Louis), ingénieur E. C. P. à la C. P. D. E., Usine Nord, 68, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Ouen (Seine). — Présenté par MM. Imbs et Malégarie.

Valton (Jean-Marie-Alexandre), ingénieur à la Compagnie d'Electricité de l'Ouest-Parisien (Ouest-Lumière), 116, boulevard de Versailles, Suresnes (Seine). — Présenté par MM. Aubert et George.

Vayssière, ingénieur E. S. E. au Service technique de la Compagnie des Lampes, 11, rue Jacques-Cœur, à Paris (4e). — Présenté par MM. Guilbert et Jouaust.

Vial (Lucien-Eugène-Octave), ingénieur à la S. T. C. R. P., 3, rue Liard, à Paris (14e). — Présenté par MM. Péridier et Alliaume.

Witz (Fernand-Marie-Joseph-Ernest-Victor), professeur d'électrotechnique à l'Ecole des Hautes Etudes industrielles des facultés catholiques de Lille, 29, rue d'Antin, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Lemay et Gosselet-Witz.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société Française des Electriciens.

M. le Président remercie les donateurs des ouvrages offerts, dont la liste est donnée dans le présent bulletin.

Il annonce que M. Roth, Ingénieur en Chef à la S.A.C.M., ancien vice-Président de notre Société, vient d'être nommé Docteur Honoris Causa ès-sciences techniques de l'Université de Brunn.

Le Délégué général rend compte de la visite que la Société vient de faire dans les Mines du Nord et du Pas-de-Calais, sous la direction de M. Maurice Leblanc, son vice Président.

Ceux de nos membres qui ont pu y prendre part ont été accueillis avec la plus somptueuse cordialité par MM. Champy, Directeur général des mines d'Anzin, du Bousquet, Administrateur Délégué de la Compagnie électrique du Nord, Waymel, Directeur général des Mines de Dourges, Guerre, Directeur général des Mines de Courrières, Barthélémy, Directeur général des Mines de Nœux, Laurent, Directeur général des Mines de Marles. Ces messieurs, accompagnés de leurs chefs des travaux du jour et du fond, nous ont prodigué avec une inlassable obligeance et une clarté parfaite, toutes explications utiles sur leurs centrales et sur leurs installations électrifiées. Nous avons pu ainsi nous rendre compte de l'admirable effort réalisé par les houillères dévastées, pour leur reconstitution.

Notre collègue M. Drouin, qui a pris part au voyage, nous en fera prochainement un compte rendu technique.

Digitized by Google

Nos plus vifs remerciements doivent aller, en dehors des Directeurs des Mines, à notre collègue M. MATHIVET, Ingénieur des travaux du jour aux mines de Nœux, qui a bien voulu se joindre à nous dès notre arrivée à Douai et nous accompagner jusqu'au départ pour Paris, se dépensant sans compter pour assurer nos multiples déplacements et pour respecter notre horaire, qui avait dû être prévu un peu serré. Le mardi soir, à Béthune, M. et Madame Mathivet nous ont ménagé une réception d'un grand charme dans leur délicieux intérieur.

Un autre de nos collègues, M. CONGE, s'est chargé de nous assurer, en dépit de sérieuses difficultés matérielles, le logis et le couvert, et Madame CONGE nous a offert un délicieux five o'clock en son hôtel de Béthune.

M. le PRÉSIDENT adresse à tous ceux qui ont ainsi contribué à assurer le succès de ce voyage, les plus vifs remerciements de la Société.

L'ordre du jour appelle les communications techniques. M. le PRÉSIDENT donne la parole à M. le Professeur WHITEHEAD, qui présente une communication très intéressante et accompagnée de nombreuses projections :

1° sur les progrès récents aux Etats-Unis dans la transmission à haute tension par les lignes aériennes.

2° sur les phénomènes dont les diélectriques sont le siège (1).

M. le PRÉSIDENT se fait l'interprète des membres présents et de la Société tout entière, pour remercier M. WHITEHEAD de sa très intéressante communication.

Les recherches sur les isolants, beaucoup plus complexes que celles qui portent sur les métaux, ont été trop longtemps négligées. Les résultats des études personnelles de M. le Professeur WHITEHEAD montrent que le temps perdu est déjà en grande partie regagné.

La séance est levée à 23 heures.

(1) La deuxième partie de cette communication sera publiée incessamment dans la collection des neuf conférences faites par M. Whitehead, comme professeur d'échange, dans un certain nombre d'Universités françaises.

Digitized by Google

COMMUNICATIONS TECHNIQUES ET DISCUSSIONS

LE CHAMP MAGNÉTIQUE AU VOISINAGE D'UNE LIGNE ÉLECTRIQUE A COURANTS ALTERNATIFS[1]

PAR M. COLLET
Ingénieur des Télégraphes

La description du champ électro-magnétique au voisinage d'une ligne électrique est un problème important et difficile.

Sa solution intéresse tous les électriciens, aussi bien les techniciens de télécommunications, que les techniciens du transport de l'énergie électrique.

Le problème étant difficile, il n'y a pas lieu de s'étonner que l'on n'en possède point encore de solution complète. Il s'est d'ailleurs rencontré une circonstance très heureuse dans la pratique : sans qu'il ait été utile de recourir à une théorie complète pour justifier cette manière de faire, on a pu souvent réduire la solution du problème général à l'ensemble des solutions de problèmes élémentaires, comportant seulement l'emploi d'un nombre restreint de variables, et relativement aisés à résoudre presque complètement. Il est possible d'étudier avec une approximation habituellement suffisante pour les besoins industriels, tous les problèmes relatifs à des systèmes de dimensions finies et à des phénomènes lentement variables, sans soupçonner l'existence de l'ensemble des lois générales du champ électromagnétique sous leur forme complète : ainsi se trouve établie par

(1) Communication présentée à la séance de la 5e Section, du 6 mai 1927.

Digitized by Google

exemple, la théorie de la transmission des courants électriques développée dans nos traités classiques d'électrotechnique.

Cependant le recours aux équations générales vient parfois s'imposer lorsque l'on veut faire une étude plus précise : il s'est montré nécessaire, notamment, lorsque l'on a voulu déterminer la loi des phénomènes comportant la circulation de courants dans des conducteurs massifs.

Or, on est justement dans ce cas lorsqu'on se propose d'étudier le champ électromagnétique d'une ligne, puisqu'il y a alors circulation de courants dans le sol.

Depuis longtemps déjà s'est posé le problème de la détermination des actions électromagnétiques d'une ligne sur une autre ligne plus ou moins rapprochée. Dès l'origine, on a cherché à réduire immédiatement sa solution à celle de problèmes élémentaires. Nous aurons l'occasion de le dire, la chose était justifiée. On s'est attaché à résoudre ces problèmes par les méthodes usuelles, sans essayer de se rendre compte de la légitimité de leur emploi. Les efforts faits dans ce sens n'ont été couronnés que d'un succès partiel. Des études récentes plus complètes, ont éclairé d'un jour nouveau des points restés obscurs jusqu'à présent.

Nous voudrions donner dans cette communication, quelques aperçus sur ces recherches récentes. En premier lieu, nous essayerons de montrer comment se pose le problème, d'indiquer quelle relations existent entre les grandeurs du champ électromagnétique et les grandeurs électriques familières à tous et susceptible d'une détermination expérimentale, de faire voir comment quelques remarques relatives aux équations générales, l'examen des données et la connaissance de certains faits d'expérience conduisent à des simplifications importantes et permettent notamment d'aborder à peu près indépendamment l'une de l'autre, dans des cas très généraux, la détermination des effets d'influence électrique et la détermination des effets d'induction magnétique. Nous préciserons l'énoncé du problème analytique fondamental à résoudre pour l'étude de cette seconde question.

En second lieu, nous signalerons la solution nouvellement proposée de ce dernier problème, lorsque l'on adopte certaines hypothèses simplificatrices, assez générales cependant ou assez plausibles.

Une circonstance heureuse permettra de compléter cette communication. En même temps qu'étaient poursuivies, de différents côtés, les recherches théoriques, il a été entrepris en Allemagne une étude expérimentale du problème de l'induction magnétique. Nous pour-

Digitized by Google

rons donc rapprocher les résultats expérimentaux des indications de l'analyse, et tirer de cette discussion quelques renseignements utiles pour l'orientation d'études ultérieures.

RAPPEL DES ÉQUATIONS GÉNÉRALES DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE. — APPROXIMATIONS ET SIMPLIFICATIONS PERMISES DANS L'ÉTUDE DES EFFETS D'INDUCTION MAGNÉTIQUE.

Considérons une ligne d'énergie, à proximité de laquelle se trouvent des conducteurs. Cherchons à nous rendre compte de la manière dont pourront être utilisées les équations générales du champ électromagnétique, pour déterminer l'état électrique de ces conducteurs voisins, à partir de données qu'il est possible de relever expérimentalement.

Ecrivons d'abord, sous leur forme traditionnelle, les équations du champ électromagnétique.

Ces équations établissent des relations entre le champ électrique E et le champ magnétique H.

Soient, en chaque point, μ la perméabilité (rapport de l'induction magnétique au champ magnétique) ;

σ la conductivité du milieu ;

ε sa constante diélectrique.

On a, dans les milieux conducteurs, notamment dans le sol :

$$(1) \qquad rot\mathrm{E} = -\mu \frac{d\mathrm{H}}{dt}.$$

$$(2) \qquad rot\mathrm{H} = 4\pi\left(\sigma + \frac{\varepsilon}{4\pi}\frac{d}{dt}\right)\mathrm{E}.$$

Dans l'air :

$$(3) \qquad rot\mathrm{E} = -\mu \frac{d\mathrm{H}}{dt}.$$

$$(4) \qquad rot\mathrm{H} = \varepsilon \frac{d\mathrm{E}}{dt}.$$

On sait, de plus, que dans tout milieu

$$(5) \qquad div\mu\mathrm{H} = 0.$$

$$(6) \qquad div\left(\sigma\mathrm{E} + \frac{\varepsilon}{4\pi}\frac{d\mathrm{E}}{dt}\right) = 0.$$

On sait enfin, qu'à la surface de séparation de milieux de constantes spécifiques différentes, demeurent continues les composantes tangentielles du champ magnétique H et du champ électrique E : les com-

Digitized by Google

posantes normales de l'induction magnétique μH, et du vecteur

$$i = \sigma E + \frac{\varepsilon}{4\pi} \frac{dE}{dt},$$

qui représente le courant total.

Nous avons dès le début, écrit sous cette forme les équations du champ électromagnétique, parce qu'en définitive, c'est sous cette forme que nous les utiliserons après transformations ou simplifications voulues.

En éliminant E et H entre les équations (1) et (2) d'une part, (3) et (4) d'autre part, on obtient les équations aux dérivées partielles du second ordre qui, lorsque les milieux sont homogènes, ne renferment que E et H.

Si on connaissait par exemple, les valeurs de E et H à la surface des conducteurs de la ligne d'énergie, le fait que les équations précédentes doivent être satisfaites dans chaque milieu, notamment dans le sol et dans les conducteurs voisins, qu'à l'infini, les champs ne sauraient admettre d'autre valeur que zéro, qu'en outre les conditions de continuité doivent être satisfaites à la surface de ces conducteurs, suffirait pour permettre la détermination de E et de H.

C'est ici que se rencontre une difficulté.

Pratiquement, les grandeurs E et H échappent à la détermination directe. Ce que connaissent les expérimentateurs, ce qu'ils savent mesurer avec plus ou moins d'exactitude, ce sont les courants et les tensions. D'autre part, ce sont également les répartitions des courants et des tensions dans les conducteurs voisins qu'il est intéressant de déterminer.

La relation entre le courant et le champ magnétique est bien connue.

D'après la loi d'Ohm, la densité du courant de conduction dans un milieu de conductivité σ est égale à :

$$i = \sigma E \tag{7}$$

Lorsqu'il s'agit de courants à variations suffisamment lentes, cette densité de courant diffère d'ailleurs extrêmement peu du courant total

$$\left(\sigma + \frac{\varepsilon}{4\pi} \frac{d}{dt}\right) E.$$

La définition de la tension des électriciens est malheureusement moins bien connue.

Dans tous les traités d'électricité théorique, il est de tradition de poser :

Digitized by Google

$$\mathbf{E} = -\nabla V + \mathcal{E}. \tag{8}$$

$$rot\,\mathcal{E} = -\mu \frac{d\mathbf{H}}{dt}, \tag{9}$$

et d'appeler la fonction V ainsi définie, un potentiel électrique.

Cependant, la relation (9) ne définit le vecteur $\mathcal{E}$ qu'au gradient près d'une fonction de forces arbitraire.

Une condition nouvelle est nécessaire pour définir complètement $\mathcal{E}$ et partant de là pour définir (à une constante près) V au moyen de (8). Quelle doit être cette condition, pour que V représente le potentiel des électriciens ? Nous posons incidemment la question. Il semble cependant que le potentiel des électriciens ne diffère pas du potentiel retardé, défini par la condition

$$\mu\varepsilon \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = div\,\mathcal{E}. \tag{10}$$

Nous utiliserons donc cette relation dans la suite, en remarquant toutefois que, dans l'étude des phénomènes lents (notamment des phénomènes périodiques de fréquence relativement basse), la relation (10) diffère suffisamment peu de la relation (11).

$$div\,\mathcal{E} = 0 \tag{11}$$

qui est certainement valable dans le cas des phénomènes stationnaires (électrostatique ; courants continus).

Ayant donc établi la relation existant entre les courants et les tensions, nous voyons qu'il serait possible, à partir des données expérimentales, de poser le problème de la détermination du courant magnétique.

Quelques remarques vont cependant permettre, dans des cas usuels, de simplifier l'énoncé en réduisant la solution du problème général à celle de problèmes élémentaires plus simples; les solutions ainsi obtenues seront de premières approximations dont la validité sera extrêmement large.

Pour simplifier l'écriture et l'exposition, plaçons-nous dans le cas d'un champ électromagnétique à variations purement sinusoïdales, en régime permanent. Si ω est la pulsation, on aura en général :

$$\frac{d}{dt} = j\omega.$$

Supposons en outre (conditions généralement remplies de façon très approchée, et utiles pour pouvoir pousser un peu les calculs), que dans tout le champ (ou du moins dans la région la plus voisine de celle où se trouvent les lignes qui nous intéressent), μ et ε sont uni

Digitized by Google

formes, de telle sorte qu'il existe une vitesse bien définie de propagation des effets électromagnétiques.

En éliminant H entre les équations (1) et (2) d'une part, (3) et (4) d'autre part on obtient les équations aux dérivées partielles :

Dans les conducteurs :

$$\Delta E = 4\pi\mu j\omega\left(\sigma + \frac{\varepsilon}{4\pi} j\omega\right)E - \mu\varepsilon\omega^2 \nabla.V, \tag{12}$$

d'où on tire :

$$\Delta\mathcal{E} + \mu\varepsilon\omega^2\mathcal{E} = 4\pi\mu\sigma j\omega E. \tag{13}$$

Dans l'air :

$$\Delta\mathcal{E} + \mu\varepsilon\omega^2\mathcal{E} = 0. \tag{14}$$

D'autre part, on déduit immédiatement de (10), que, dans tous les milieux :

$$\Delta V + \mu\varepsilon\omega^2 V = 0. \tag{15}$$

Il n'est pas inutile d'écrire ces équations qui, en définitive servent au calcul de E ou de V.

Mais pour leur discussion, il est préférable de leur substituer les équation intégrales, appelées aussi formules des potentiels retardés, dont l'équivalence avec les équations précédentes est établie.

Ces formules sont :

$$\mathcal{E} = -j\omega\mu \int\int\int \frac{\sigma E\left(t - \frac{r}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\right)}{r} d\omega, \tag{16}$$

$$V = \frac{1}{4\pi} \int\int\int \frac{div\varepsilon E\left(t - \frac{r}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\right)}{r} d\Omega. \tag{17}$$

Dans ces formules, l'intégration est étendue à tout le champ électromagnétique. La lettre r représente la distance séparant le point pour lequel on calcule V ou $\mathcal{E}$, du point où le champ a la valeur E. Enfin, le symbole $E\left(t - \frac{r}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\right)$ signifie que la valeur de E intervenant dans la sommation pour le calcul du potentiel à l'instant t, est non pas la valeur de E à ce même instant, mais la valeur à l'instant antérieur $\left(t - \frac{r}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\right)$.

Il est évident, d'après ces formules, que lorsque d'une part le phénomène est suffisamment lent, d'autre part lorsque les distances séparant le point pour lequel on calcule le potentiels, des points où se trouvent les éléments importants de la quantité sous le signe d'intégration, sont suffisamment petites, on peut assimiler les potentiels re-

Digitized by Google

tardés aux potentiels simples. Mais, alors, les formules (16) et (17) ne diffèrent plus des solutions des équations aux dérivées partielles

$$\left.\begin{array}{ll} (12\ bis) & \Delta E = 4\pi\mu\sigma j\omega E \\ (13\ bis) & \Delta \mathcal{E} = 4\pi\mu\sigma j\omega E \end{array}\right\} \text{ dans les milieux conducteurs.}$$

$$(14\ bis) \qquad \Delta \mathcal{E} = \Delta E = 0 \quad \text{dans l'air.}$$

$$(15\ bis) \qquad \Delta V = 0 \quad \text{dans tous les milieux.}$$

De même (10) ne diffère plus de (11).

Une seconde remarque à faire est que, dans la détermination de $\mathcal{E}$ ou de V en un point donné, les valeurs du champ en des points éloignés interviennent relativement peu. Ainsi, dans les applications, on pourra sans danger simplifier les conditions aux limites qui doivent déterminer la solution générale, en substituant à des données se rapportant aux points éloignés, données parfois incertaines ou impossibles pratiquement à écrire, des données plus grossières et d'expression facile, si l'on sait par ailleurs (et en fait, l'expérience renseignera généralement à ce sujet), qu'il correspond aux données nouvelles un champ assez peu différent du champ réel au voisinage du point considéré. Cela est intuitif et implicitement admis lors de toute étude. Il semble bon cependant d'énoncer cette proposition en termes relativement précis, ne serait-ce que pour bien marquer que le recours à la théorie générale ne rend pas stérile tout essai d'application pratique.

Nouvelle remarque. — La quantité σE rentrant sous le signe d'intégration dans (16), représente, avons-nous déjà dit, la densité du courant de conduction. L'examen de la relation (16) montre que, si on altère le champ de manière à ne pas modifier sensiblement le flux de la densité de courant à travers des surfaces très petites, on ne change pratiquement pas $\mathcal{E}$, en dehors de la région où l'on a modifié la répartition des densités de courant. Au contraire, dans cette région, la valeur de $\mathcal{E}$ dépend essentiellement de la valeur que prennent les densités de courant : mais, si les dimensions transversales du conducteur sont petites par rapport à son éloignement des conducteurs voisins, le problème de la distribution de E, ou de σE, à l'intérieur du conducteur peut être étudié comme si le conducteur existait seul.

De ce qui précède résulte que, pour déterminer $\mathcal{E}$ à l'extérieur des conducteurs, on peut faire abstraction des valeurs que possède véritablement le potentiel V dans le champ, et conserver comme seules données, les intensités de courant traversant chaque conducteur. Sans doute, lorsqu'on reviendra aux équations différentielles on devra faire intervenir E (et non pas seulement $\mathcal{E}$) dans les conditions aux limites?

Digitized by Google

Cela impliquera la détermination d'une certaine fonction de V. Mais peu importera que cette fonction diffère du véritable potentiel. La détermination de $\mathcal{E}$ demeurera bonne, au moins en première approximation.

Cette remarque a une très grosse importance. Elle montre que, notamment, la présence dans le champ d'un fil isolé n'altère pas le champ. En toute rigueur, ce fil sera le siège de courants plus ou moins intenses dont la répartition sera plus ou moins simple. Cependant, en pratique, le courant traversant toute la section droite sera nul. L'intégrale (16) étendue à tout le volume du fil sera insignifiante. Il n'en serait pas évidemment de même si le conducteur était massif.

Si donc on veut calculer $\mathcal{E}$ dans un champ comportant plusieurs fils 1, 2, 3, 4, et un conducteur massif que nous supposerons tout entier au potentiel 0 (ce sera par exemple le sol) on peut, en vertu du caractère linéaire des équations générales du champ, et grâce à la remarque précédente procéder ainsi : supposer successivement l'existence du seul fil 1 et du sol, puis du seul fil 2 et du sol, et ainsi de suite. Calculer chaque fois, en fonction de la valeur du courant traversant 1, 2,.... un vecteur $\mathcal{E}_1$, puis $\mathcal{E}_2$ ... etc. Enfin, ajouter l'ensemble. On aura ainsi obtenu $\mathcal{E}$.

Il est aisé de se rendre compte de la signification du vecteur $\mathcal{E}$.

L'équation (16 *bis*).

$$\mathcal{E} = -j\omega\mu \int\int\int \frac{\sigma E}{r} \cdot d\Omega,$$

montre que $\mathcal{E}$ ne diffère pas de la dérivée (changée de signe) du potentiel vecteur magnétique, utilisé pour définir les paramètres d'induction des circuits fermés.

On peut préciser davantage.

Considérons un conducteur filiforme, placé dans le champ en une région où le champ a la valeur E, et disposé de telle sorte que $\mathcal{E}$ soit tangent à sa direction. Supposons que le conducteur est de diamètre suffisamment petit pour qu'en tous les points d'une même section droite, E ait la même valeur que .

Proposons nous d'écrire qu'à la surface de ce conducteur, est satisfaite la condition de la continuité de la composante tangentielle de E.

En un point intérieur du conducteur, on a $E = \frac{i}{\sigma}$.

D'autre part, à l'intérieur du conducteur est satisfaite l'équation :

(12 *bis*) $$\Delta E = 4\pi\mu\sigma j\omega E.$$

Digitized by Google

Comme on admet que les conducteurs extérieurs n'influent pas sur ce qui se passe à l'intérieur du fil considéré, on peut résoudre (12 *bis*) une fois pour toutes. On fait ainsi correspondre à la valeur $\mathcal{I}$ du courant total traversant le fil, une valeur i, de la densité du courant à la surface,

Posons :

$$\frac{i}{\sigma} = (\rho + j\omega\lambda)\mathrm{I}.$$

Un calcul classique montre que, en général, ρ est une fonction de ω qui, lorsque ω tend vers O, tend vers la valeur de la résistance linéique du fil en courant continu. ρ s'appelle généralement la résistance effective du fil, supposé infiniment éloigné de tout autre conducteur. λ est également une fonction de ω qui, pour un fil circulaire, quand ω tend vers O, tend vers $\frac{\mu}{2}$.

Ainsi en définitive, le champ électrique en un point de la surface du fil, a pour valeur :

$$\mathrm{E} = (\rho + j\,\omega\,\lambda)\,\mathrm{I}.$$

Sa valeur est également :

$$\mathrm{E} = \mathcal{E} - \frac{\partial \mathrm{V}}{\partial x}.$$

Ainsi :

$$-\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial x} = \rho\mathrm{I} + j\omega\lambda\mathrm{I} - \mathcal{E}.$$

Lorsque le conducteur est seul dans le champ, le retour des courants se faisant par la terre, on voit que la résistance linéique apparente du circuit est égale à la somme de ρ et de la partie réelle de $-\frac{\mathcal{E}}{\mathcal{I}}$. La réactance apparente du circuit a une expression analogue.

On peut dire que $(-\mathcal{E})$ représente la force électromotrice de self induction (par unité de longueur) abstraction faite de l'induction mutuelle des filets de courant traversant le fil lui-même.

Si le conducteur est isolé à ses extrémités, de telle sorte que $\mathrm{I} = 0$ (ou du moins en diffère extrêmement peu) $\mathcal{E}$ représente la différence de potentiel par unité de longueur qui s'établit entre les extrémités du fil. Il est très important de remarquer que cette différence de potentiel n'existe qu'autant qu'un conducteur isolé est placé entre les deux points. Si on supprime le conducteur, on supprime la différence de potentiel : des électromètres placés entre le sol et chacun des bouts du fil donneraient une certaine déviation tant que le fil serait con-

Digitized by Google

tinu. Ils n'indiqueraient plus rien si on venait à couper le fil ou à le supprimer.

La force électromotrice $\mathcal{E}$ due aux seuls conducteurs voisins (et que l'on peut mesurer comme il vient d'être dit), par la différence de potentiel qu'elle fait naître aux extrémités d'un fil isolé, ne dépend, avons-nous dit, que de l'intensité des courants traversant ces conducteurs. Elle ne dépend pas du courant traversant le fil, non plus que de sa tension. Rien ne nécessite qu'elle ait une valeur uniforme tout le long du fil. Comme $\mathcal{E}$ est une fonction linéaire des intensités des courants, on peut l'exprimer au moyen de coefficients d'induction mutuelle quand les courants inducteurs sont uniformes le long des fils. Il est à noter que ces coefficients ne sont définis que pour une pulsation donnée ω du courant, lorsqu'il se trouve dans le champ des conducteurs massifs (le sol par exemple) dans lesquels la répartition des courants varie lorsque change la fréquence.

L'ensemble des développements précédents nous permet maintenant de dégager quel est le problème d'analyse fondamental à résoudre, pour étudier dans un grand nombre de cas usuels, les phénomènes d'induction magnétique d'une ligne parcourue par des courants alternatifs en régime permanent.

On doit considérer une ligne constituée par un fil unique dont les deux extrémités sont au sol. Sont considérées comme connues, d'une part, la configuration de la ligne, ses caractéristiques électriques (résistance linéique effective ρ, du fil supposé infiniment éloigné de tout autre conducteur, et fonction λ relatives à la pulsation ω considérée), d'autre part, la valeur du courant total I qui la parcourt.

On admet qu'à la surface du conducteur, le champ électrique est dirigé suivant l'axe du conducteur, et a pour intensité

$$E = (\rho + j\omega\,\lambda)\,I.$$

Le problème consiste à déterminer un champ de vecteurs E, prenant cette valeur à la surface du fil, satisfaisant aux équations, aux dérivées partielles.

$$\Delta E = 0 \qquad \text{dans l'air,}$$
$$\Delta E = 4\pi\mu\varrho j\omega E \qquad \text{dans le sol,}$$

et tels qu'à la surface du sol :

E n'est pas de composante normale,

E soit continu, ainsi que ses dérivés premières suivant toutes les directions.

Cette dernière condition exprime que H, qui est à un facteur cons-

Digitized by Google

tant près, le rotationnel de E est partout continu, puisque nous avons convenu de limiter l'étude au cas où la perméabilité est la même en tout point du champ.

Il faut enfin qu'à l'infini, E et toutes ses dérivées du premier ordre soient nulles.

De la solution de ce problème, on pourrait déduire par application des remarques, faites plus haut, celle de tout problème plus compliqué : champ d'une ligne comportant plusieurs conducteurs ; action sur un fil ou un circuit fermé voisin, etc.

Pour en finir avec l'étude du problème général, nous indiquerons qu'une discussion analogue à celle qui vient d'être menée, serait à faire pour déterminer dans quelles conditions on peut étudier en soi, le problème de l'influence électrique. Nous n'entreprendrons point ici cette discussion, assez délicate. Dans le cas général de la pratique, la chose est possible : l'étude du problème et faite depuis longtemps, des résultats sont classiques et semblent bien rendre compte des faits expérimentaux. L'étude s'est d'ailleurs trouvée facilitée du fait que l'on peut admettre qu'en dépit de la circulation des courants dans le sol, celui-ci se maintient à un potentiel uniforme, sauf toutefois au voisinage des points où les courants entrent dans le sol : les développements précédents aident à comprendre qu'il n'y a pas incompatibilité entre le fait que des courants circulent dans le sol, et l'hypothèse que son potentiel demeure nul.

RÉSULTATS D'ÉTUDES THÉORIQUES RÉCENTES, AU SUJET DES EFFETS D'INDUCTION MAGNÉTIQUE D'UNE LIGNE ADMETTANT LE SOL COMME CONDUCTEUR DE RETOUR.

L'énoncé que nous avons indiqué précédemment, est celui d'un problème très général : certaines données n'ont pas été précisées (configuration de la ligne). Même au cas où la solution de ce problème serait formellement possible, il faudrait pour les applications, tenir compte de la forme du sol au voisinage de la ligne, et de la répartition des conductivités dans sa masse.

Depuis quelques années, différents auteurs ont étudié quelle était la solution du problème énoncé, lorsque ces données vagues étaient précisées.

Pour faciliter les calculs, tous ont considéré que la ligne inductrice était assimilable à un conducteur rectiligne. Cependant certains ont

Digitized by Google

admis qu'en ce qui concerne la distribution du champ magnétique dans l'air, le rôle du sol était analogue à celui de conducteurs de formes plus ou moins variées (plaque mince indéfinie, conducteur de dimensions infinies s'étendant au delà d'un cylindre de révolution admettant le fil comme axe).

Simultanément M. John R. Carson et M. Pollaczek ont publié, le premier dans le *Bell System Technical Journal* (octobre 1926) le second dans *l'Electrische Nachrichten Technik* (n° 9 de l'année 1926), la solution du problème posé, en assimilant le sol à un conducteur s'étendant à l'infini au-dessous d'un plan de dimensions infinies qui serait la surface du sol.

Comme dans tous les travaux antérieurs, ils ont supposé que la conductivité de ce conducteur serait uniforme, et que sa perméabilité serait égale à celle de l'air.

A défaut de connaissances précises sur la conductivité du sol cette hypothèse s'impose naturellement à l'esprit : l'expérience devra montrer si cette hypothèse simple est satisfaisante pour rendre compte de la réalité des faits.

Ils ont précisé encore les données du problème en étudiant le cas d'une ligne indéfinie, parcourue sur toute sa longueur par un courant d'intensité uniforme. Cela entraîne une simplification des calculs : le champ d'une telle ligne est évidemment cylindrique, E n'a plus qu'une composante dirigée suivant l'axe de la ligne. Sa dérivée suivant cet axe est nulle. Le problème général se ramène à un problème plan.

Cette simplification ne détruit pas l'intérêt que présente la solution obtenue ; l'expérience montre que lorsqu'une ligne est longue, on peut admettre qu'en dehors de régions voisines de ses extrémités, le champ magnétique de cette ligne ne diffère pas, pratiquement, de celui d'une ligne indéfinie. Nous avons vu d'autre part que les équations générales justifient cette manière de voir.

La marche suivie par les deux auteurs dans leurs développements est différente. Tous deux cependant, ramènent la solution aux mêmes quadratures. Ils fournissent ensuite des moyens différents de résoudre numériquement le problème se présentant dans la pratique.

Dans ce qui suit, nous nous bornerons à tirer de ces deux mémoires quelques résultats particulièrement intéressants.

Ainsi qu'il a été indiqué plus haut, la connaissance de E dans tout le champ, et notamment à la surface d'un conducteur parcouru par un courant, permet de savoir quelle est la force électromotrice de

Digitized by Google

self induction développée par unité de longueur. Le terme $(-\mathcal{E})$, qui intervient dans son expression, n'est pas en quadrature exacte avec le courant : il possède une composante active qui s'ajoute au terme ρ I, pour représenter la partie active de la chute de tension le long du fil.

Si on convient (1) d'appeler résistance effective linéique de la ligne, (et non du fil), le quotient par le courant total, de la composante de la chute de tension par unité de longueur en phase avec lui, on a pour expression en unités C.G.S. de cette résistance effective, relative à la pulsation ω.

$$\rho + \frac{\pi\omega}{2}.$$

Si, de même, on convient d'appeler réactance effective linéique de la ligne, le quotient par le courant total, de la composante en quadrature avec lui, de la chute de tension, par unité de longueur, le long du fil, on a, pour expression en unités C. G. S. de cette réactance effective, relative à la pulsation ω,

$$j\omega\left[\lambda + 2\,\mathrm{Log}\,\frac{2}{\gamma\alpha a} + 1\right]$$

α représentant la quantité

$$\alpha = \sqrt{4\pi\sigma\mu\omega} \quad \mathrm{cm}^{-1}$$

a représentant le rayon du fil, exprimé en centimètres,

γ représentant la constante d'Euler ($\gamma = 1{,}7811$).

Rappelons que pour des fréquences basses et moyennes (fréquences téléphoniques) et pour des conducteurs de petit rayon, on peut admettre que λ diffère très peu de $\frac{\mu}{2} = \frac{1}{2}$.

Tous calculs faits, on obtient pour expression de la réactance effective

$$j\omega\left[2\,\mathrm{Log}\,\frac{1}{\alpha a} + 1{,}368\right].$$

Somme toute, l'impédance linéique de la ligne a pour expression

$$z = \rho + \frac{\pi\omega}{2} + j\omega\left[2\,\mathrm{Log}\,\frac{1}{\alpha a} + 1{,}368\right].$$

A dire vrai, les formules précédentes seraient à compléter par un

(1) Des définitions suffisamment précises et généralement admises permettraient d'alléger les exposés, en supprimant la nécessité d'employer pour exprimer sa pensée, d'interminables périphrases.

Digitized by Google

terme tenant compte de la hauteur h du conducteur au-dessus du sol, si la fréquence du courant était suffisamment élevée pour que αh cesse d'être extrêmement petit devant $\log \alpha a$. Mais en pratique, pour les fréquences industrielles et téléphoniques, le coefficient de self induction d'une ligne d'énergie ou d'une ligne téléphonique est indépendant de la hauteur de cette ligne au-dessous du sol.

Voyons maintenant quelle serait la force électromotrice $\mathcal{E}$, induite sur un fil parallèle.

On pose habituellement :

$$\mathcal{E} = j\mathrm{M}\omega\mathrm{I}$$

et on donne à M le nom de coefficient d'induction mutuelle des deux circuits unifilaires (se fermant par la terre). Si les deux circuits étaient constitués l'un et l'autre par une seule boucle d'un conducteur de section infiniment petite, M serait un nombre réel : autrement dit, E et I seraient exactement en quadrature.

Le calcul montre que dans le cas examiné, M n'est pas un nombre réel : en outre, la différence de phase entre le courant inducteur et la force électromotrice induite n'est pas la même pour tous les points du champ.

L'expression complète de M fait intervenir la distance entre les fils inducteur et induit, et la hauteur de chacun d'eux au-dessus du sol : elle s'exprime au moyen des fonctions de Bessel et de Struve.

M. Carson indique cette solution complète sous forme d'une somme de séries dont le calcul est plus ou moins pénible. Il donne d'ailleurs des courbes permettant des applications numériques plus faciles.

Cependant pour l'étude des effets d'induction magnétique produits par une ligne d'énergie sur une ligne de communications voisines, de grandes simplifications peuvent être apportées à la solution complète. Au voisinage immédiat du fil inducteur, l'expression de M comprend comme terme nettement prépondérant un terme dans lequel figure seulement la distance entre les fils (quelles que soient les hauteurs des fils au-dessus du sol).

A partir d'une certaine distance (relativement assez petite, d'ailleurs), on peut encore négliger les termes qui permettent de tenir compte de la hauteur des conducteurs au-dessus du sol. On peut, sans grande erreur, adopter la solution correspondant au cas où tant le fil inducteur que le fil induit se trouveraient sur le plan du sol. Cela a pour effet d'introduire une grande simplification analytique et de permettre l'expression de M au moyen de fonctions de Bessel dont les tables ont été publiées.

Digitized by Google

En résumé, le coefficient M peut s'exprimer au moyen de deux formules valables, l'une pour de petits écartements, l'autre pour toute distance supérieure à une certaine valeur : mais pratiquement, les régions de validité de chacune de ces formules empiètent assez largement l'une sur l'autre de sorte qu'en définitive il peut être établi une *courbe* unique représentant la valeur de M en fonction d'une seule donnée géométrique : l'écartement des fils.

Ces points sont précisés dans le mémoire de M. POLLACZEK qui indique les formules suivantes pour le calcul de M :

1° pour de petits écartements, c'est-à-dire pour beaucoup plus petit que l'unité :

$$M = 2 \operatorname{Log} \frac{2}{1.781 \alpha x} + 1 - j \frac{\pi}{2} \qquad \text{C. G. S.}$$

2° pour les écartements supérieurs :

$$M = 4 \frac{Kei' \alpha x - j Ker' \alpha x}{\alpha x} - \frac{4j}{\alpha^2 x^2} \qquad \text{C. G. S.}$$

Nous avons établi le tableau et les courbes ci-après à partir des formules précédentes :

la formule 1 pour $\alpha x \leqslant 0{,}1$;

la formule 2 pour $\alpha x \geqslant 0{,}01$;

M a été exprimé en millihenrys ou en microhenrys par kilomètre.

Le calcul a été limité aux valeurs correspondant à $\alpha x = 10$, la table des fonctions de BESSEL dont nous disposions ne s'étendant pas, au delà de cette valeur de l'argument.

Au delà, d'ailleurs, les fonctions *Ker'* et *Kei'* prennent des valeurs très petites, de telle sorte qu'il semble permis de prendre sans grande erreur, pour M, la valeur

$$M = -\frac{4j}{\alpha^2 x^2}$$

qui a été portée sur le graphique en traits pointillés.

D'ailleurs, dans la pratique, on rencontrera rarement des valeurs de ω supérieures à 10, lorsque l'on étudiera l'induction exercée par les courants de fréquence industrielle.

En effet, considérons le cas d'une fréquence de 50 par seconde

$$\alpha = \sqrt{4\pi\sigma . 2\pi f} = 2\pi\sqrt{2\sigma f},$$

Si $f = 50$ et si d'autre part, σ est compris entre 10^{-12} et 10^{-14} (unités C. G. S.) on se rend compte que α est compris entre

$$6{,}3 \times 10^{-5}$$

$$\text{et } 6{,}3 \times 10^{-6}$$

Digitized by Google

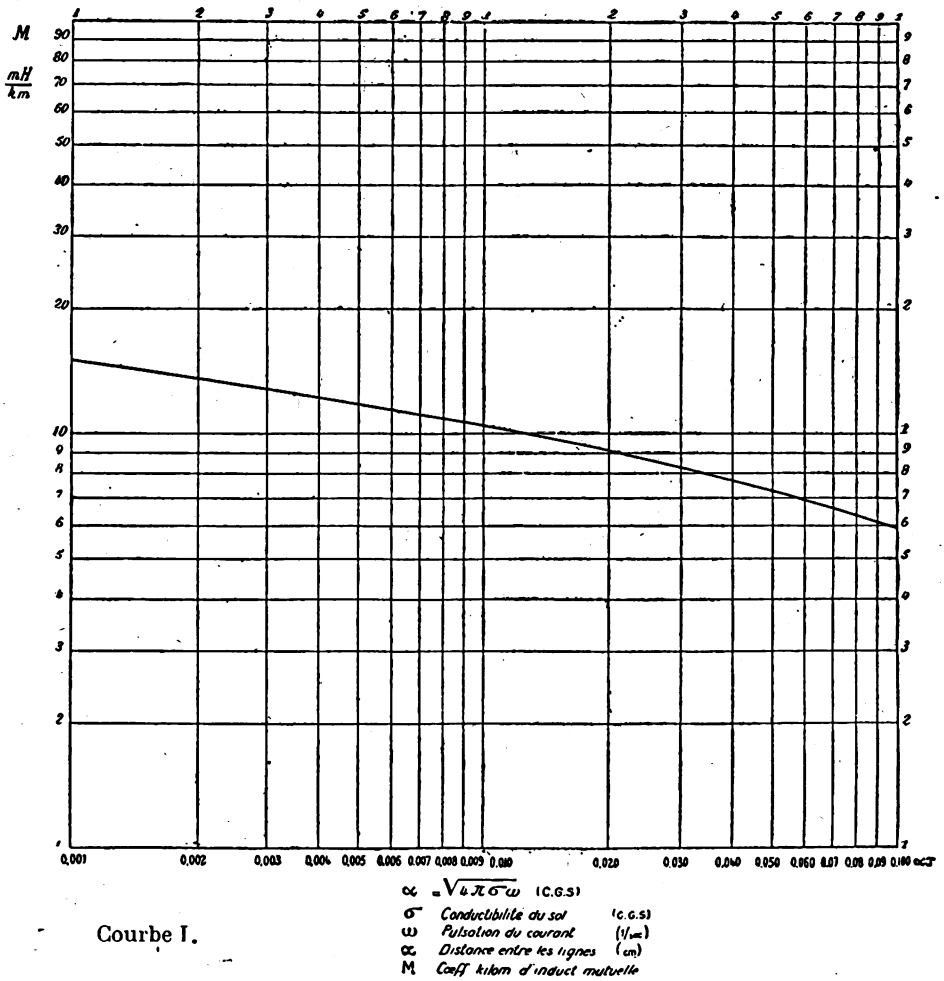
Pour un écartement entre lignes de 1 Km, on aura :

$$\alpha x = 6{,}3 \times 10^{-5} \times 10^{-5} \times 10^{5} = 6{,}3 \ ;$$

ou $$\alpha x = 6{,}3 \times 10^{-6} \times 10^{-6} \times 10^{5} = 6{,}3.$$

Connaissant l'expression de l'impédance propre d'un fil, et du coefficient d'induction mutuelle de deux fils parallèles on peut en déduire la valeur de l'impédance linéique d'un circuit de deux (ou plusieurs) conducteurs parallèles, sans dérivation à la terre.

Soient a le rayon de chacun des deux conducteurs, d leur écartement.

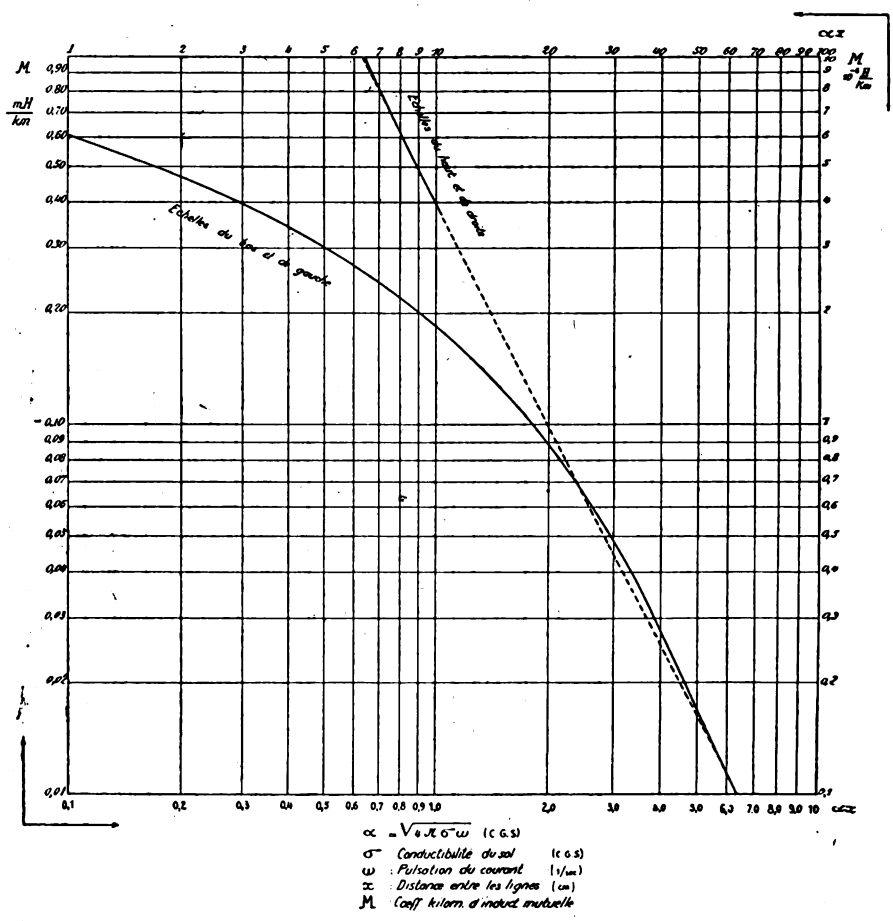


Courbe I.

Considérons un élément de circuit compris entre deux plans normaux distants de l'unité de longueur. Comme on a admis que le circuit était sans dérivation à la terre, les deux fils sont parcourus par des courants de même intensité I et de sens opposé.

Calculons la variation de la différence des tensions entre les fils, d'une extrémité de l'élément à l'autre.

Digitized by Google



Courbe II.

La chute de tension, le long du premier fil est égale au produit par I, de la somme de son impédance et de son coefficient d'induction mutuelle avec l'autre fil, soit à

$$-\frac{dV_1}{dx} = I\left\{\rho + \frac{\pi\omega}{2} + j\omega\left[2\,\mathrm{Log}\frac{2}{\gamma\alpha a} + 1 + \lambda\right] - \frac{\pi\omega}{2} - \nu\omega\left[2\,\mathrm{Log}\frac{2}{\gamma\sigma a} + 1\right]\right\}.$$

Soit :

$$-\frac{dV_1}{dx} = I\left\{\rho + j\omega\left[2\,\mathrm{Log}\frac{d}{a} + \lambda\right]\right\}.$$

La chute de tension, le long de l'autre fil est égale, mais de sens contraire.

Ainsi l'impédance linéique du circuit (rapport de la variation des

Digitized by Google

TABLEAU A

Coefficients d'induction mutuelle entre lignes unifilaires utilisant la terre comme conducteur de retour.

αx	M		αx	M		αx	M	
	module	argument		module	argument		module	argument
	10^{-3} H/Km	radian		10^{-6} H/Km	radian		10^{-6} H/Km	radian
0,001	1,153	0,104	0,10	603	0,262	3,20	43,5	1,358
0,002	1,375	0,114	0,20	472	0,333	3,40	39,9	1,355
0,003	1,295	0,121	0,30	395	0,392	3,50	34,9	1,428
0,004	1,236	0,127	0,40	343	0,446	3,80	31,4	1,459
0,005	1,194	0,132	0,50	303	0,496	4,00	28,2	1,486
0,006	1,157	0,136	0,60	271	0,543	4,20	25,5	1,509
0,007	1,126	0,141	0,70	245	0,589	4,40	23,1	1,530
0,008	1,100	0,143	0,80	222	0,632	4,60	20,9	1,548
0,009	1,077	0,146	0,90	203	0,673	4,80	19,0	1,562
0,010	1,056	0,149	1,00	186	0,714	5,00	17,4	1,574
0,012	1,019	0,152	1,10	172	0,754	5,20	15,9	1,583
0,014	0,989	0,157	1,20	158	0,792	5,40	14,6	1,590
0,016	0,963	0,162	1,30	147	0,829	5,60	13,4	1,595
0,018	0,9 9	0,168	1,40	136	0,864	5,80	12,4	1,598
0,020	0,919	0,172	1,50	127	0,900	6,00	11,5	1,600
0,022	0,900	0,175	1,60	118	0,934	6,20	10,7	1,600
0,024	0,883	0,179	1,70	110	0,967	6,40	9,9	1,600
0,026	0.868	0,182	1,80	103	1,000	6,60	9,3	1,598
0,028	0,853	0,185	1,90	96	1,031	6,80	8,7	1,596
0,03	0,839	0,188	2,00	90	1,060	7,00	8,2	1,594
0,035	0,809	0,196	2,10	84,4	1,090	7,50	7,1	1,588
0,040	0,783	0,202	2,20	79,2	1,119	8,00	6,2	1,580
0,045	0,760	0,208	2,30	74,4	1,147	8,50	5,5	1,575
0,050	0,739	0,213	2,40	69,9	1,174	9,00	4,9	1,573
0,055	0,721	0,220	2,50	65,8	1,200	9,50	4,4	1,570
0,060	0,703	0,225	2,60	61,8	1,225	10,—	4,0	1,569
0,070	0,674	0,235	2,70	57,9	1,247			
0,080	0,647	0,245	2,80	54,9	1,272			
0,090	0,624	0,254	2,90	51,8	1,295			
0,100	0,603	0,262	3,00	48,8	1,317			

différences de tension, par l'intensité) a pour expression

$$Z = 2\left(\rho + j\omega\left[2 \operatorname{Log} \frac{d}{a} + \lambda\right]\right).$$

Elle ne contient aucun terme qui tienne compte de la présence du sol.

En général, avons-nous dit, on peut poser

$$\lambda = \frac{1}{2}$$

Ainsi retrouve-t-on la formule classique du coefficient linéique d'induction mutuelle d'un circuit bifilaire.

$$4 \operatorname{Log} \frac{d}{a} + 1.$$

Digitized by Google

On pourrait aussi se proposer de déterminer l'effet d'induction d'une ligne bifilaire sur un fil parallèle, ou l'effet d'induction d'un circuit unifilaire à retour par le sol, sur un circuit parallèle.

L'idée qui se présente le plus naturellement pour résoudre le problème, est de différencier, par rapport aux coordonnées géométriques, l'expression de l'induction mutuelle entre deux fils. Le procédé ne serait correct cependant, que si on partait d'une formule complète et non d'une formule approchée et simplifiée. On doit craindre même, que dans la pratique, l'expression ainsi calculée ne corresponde pas bien à la réalité. Certains facteurs inconnus — notamment la distribution des conductivités dans le sol, pourraient ne modifier que d'une façon insensible l'expression générale du champ, et contribuer cependant à altérer notablement l'expression de sa variation dans une région donnée.

Appliquons cependant le procédé de la différenciation pour calculer la force électromotrice induite par un circuit unifilaire, sur un circuit bifilaire suffisamment rapproché, pour que l'on soit dans la région de validité de la formule

$$M = 2 \operatorname{Log} \frac{2}{\gamma x.x} + 1.$$

Soient x et $x + \delta x$ les distances du fil inducteur à chacun des fils du circuit.

La force électromotrice induite dans le circuit aurait, si le procédé de calcul est licite, la valeur :

$$\omega I.2 \frac{\delta x}{x}.$$

Cette expression représente exactement la force électromotrice due à la variation du flux embrassé par ce circuit, provenant du champ magnétique du seul fil inducteur. Rien dans cette expression ne tient compte de la présence du sol. Il semble bien qu'elle doive être considérée au moins comme une formule très approchée.

RÉSULTATS RÉCENTS D'EXPÉRIENCES, SUR L'INDUCTION MAGNÉTIQUE DÉVELOPPÉE PAR UN CIRCUIT UNIFILAIRE ADMETTANT LA TERRE COMME CONDUCTEUR.

En même temps qu'était abordée, de différents côtés, l'étude théorique du problème, il a été entrepris en Allemagne, par la Société Siemens et Halske une campagne d'expériences. Le compte-rendu de

Digitized by Google

ces essais a été publié par M. A. Zastrow, dans le numéro d'octobre 1926, de la revue *Electrische Bahnen*. Il a donc paru vers la même époque que les études de MM. Carson et Pollaczek, dont nous venons de signaler les résultats. Il semble intéressant de résumer ici les renseignements fournis par M. Zastrow, et de comparer les valeurs obtenues par expérience avec celles qui peuvent se calculer en appliquant les formules théoriques, cette comparaison n'ayant pu être faite au moment des essais.

Les essais en question ont été effectués sur le champ de manœuvre de Döberitz, en Brandebourg. La ligne inductrice était une ligne téléphonique longue de 12 kilomètres, comportant deux fils de bronze de 3 mm de diamètre. Le tracé de cette ligne était à peu près rectiligne sur une longueur d'environ 5 km. Parallèlement à cette partie rectiligne furent établies des lignes spéciales d'essai situées respectivement à 1, 10, 100, 500, 750 et 1 000 mètres de la ligne inductrice.

La ligne inductrice fut alimentée par des courants de fréquence respectivement égale à : 16 2/3, 50, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000 périodes par seconde.

La ligne inductrice et les lignes induites comportaient des mises à la terre effectuées avec un soin particulier.

Pour les mesures on disposa à partir du milieu des lignes inductrices ou induite, et normalement à ces lignes des fils de renvoi aboutissant à une installation de mesures.

Les essais aux fréquences basses comportèrent la mesure directe du courant inducteur, de la force électromotrice induite et du déphasage de ces grandeurs.

Les essais aux fréquences supérieures furent effectués au moyen d'une machine de Francke : ces essais comportèrent la détermination directe du coefficient d'induction mutuelle des lignes suivant une technique analogue à celle qui permet la détermination de ce coefficient dans le cas de deux circuits quelconques.

Le résultat des essais est résumé dans le tableau I indiquant, pour les diverses fréquences, les valeurs du coefficient d'induction mutuelle entre les différentes lignes d'essai et la ligne inductrice, qui ont été déterminées expérimentalement.

Nous allons comparer ces résultats avec ceux qui pourraient se calculer au moyen des formules de Pollaczek et de Carson. Rappelons que ces formules permettent de calculer l'induction mutuelle kilométrique de deux lignes parallèles, connaissant :

— la fréquence du courant $\left(\frac{\omega}{2\pi}\right)$;

Digitized by Google

— l'écartement entre les lignes d ;

— la conductivité du sol σ.

Ces quantités entrent dans la formule par l'expression $\sqrt{4\pi\sigma\omega} = \alpha d$.

Les deux premiers termes sont bien définis pour chaque mesure, le troisième n'a pas été déterminé directement. Cependant un résultat de mesure devrait suffire à le déterminer.

Pour comparer les résultats expérimentaux, aux indications de la théorie, on peut procéder ainsi :

On déduit de chaque résultat de mesure quelle est la valeur correspondante de α. Si la formule représente bien la loi du phénomène, toutes les valeurs de α relatives aux essais faits à une même fréquence doivent être égales entre elles, et proportionnelles à $\sqrt{\omega}$.

TABLEAU I

Coefficients d'induction mutuelle mesurée.

Fréquence	Distances					
	1 m.	10 m.	100 m.	500 m.	750 m.	1 000 m.
	M	M	M	M	M	M
	10^{-4} H/Km	10^{-4} H/Km	10^{-4} H/Km	10^{-4} H/Km	10^{-4} H/Km	10^{-4} H/Km
16 2/3	13,3	8,3	3,67	0,95	0,550	0,320
50	12,2	7,5	3,11	0,705	0,376	0,207
150	11,1	6,9	2,76	0,480	0,230	0,124
200	10,9	6,75	2,52	0,423	0,202	0,107
300	10,6	6,55	2,37	0,370	0,160	0,083
400	10,4	6,35	2,24	0,290	0,134	0,069
600	10,0	6 10	2,04	0,225	0,102	0,051
800	9,8	5 95	1,92	0,186	0,082	0,040
1 000	9,6	5,85	1,81	0,162	0,069	0,033
1 200	9,5	5,75	1,73	0,142	0,060	0,028
1 400	9,4	5,67	1,66	0,129	0,052	0,024
1 600	9,3	5,60	1,60	0,120	0,048	0,020
1 800	9,16	5,55	1,55	0,112	0,044	0,018
2 000	9,10	5,50	1,52	0,104	0,040	0,015

Le tableau II, indique les valeurs de α correspondant à chacune des mesures effectuées à Döberitz.

L'examen de ce tableau conduit aux remarques suivantes :

1° Pour la suite des essais relatifs à une même fréquence, α varie

Digitized by Google

TABLEAU II

Valeurs de α correspondant à chacune des mesures effectuées à Döberitz.

Ecartements / Fréquences	1 m.	10 m.	100 m.	500 m.	750 m.	1 000 m.
	$\times 10^{-5}$ c.g.s.	$\times 10^{-5}$ c.g.s.	$\times 10^{-5}$ c.g.s.	$\times 10^{-5}$ c.g.s.	$\times 10^{-5}$ c.g.s.	$\times 10^{-5}$ c.g.s.
16 2/3	2,45	3,15	3,60	3,83	3,73	3,78
50	4,4	4,8	4,75	4,77	4,73	4,62
150	7,6	6,5	5,85	6.06	5,87	5,80
200	8,4	7,0	6,72	6.54	6,24	6,20
300	9,8	7,7	7,28	7,04	6,88	6,96
400	10,8	8,5	7,9	7.9	7,5	7,4
600	13,0	9,7	8,96	8,90	8,48	8,86
800	14,8	10,6	9,67	9,50	9,33	10,0
1 000	16,1	11,2	10,5	10,3	10,2	11,0
1 200	17	11,8	10,9	10,9	10,8	11,9
1 400	18	12,3	11,3	11,4	11,6	12,9
1 600	18,9	12,8	11,9	11,8	12,1	14,1
1 800	20,3	13 0	12,3	12,2	12,8	14,9
2 000	21,0	13,2	12,6	12,5	13,3	16,3

assez régulièrement en fonction de la distance : cependant la variation de α est assez lente dans la zone comprise entre la ligne induite écartée de 10 mètres de la ligne inductrice, et la ligne induite écartée de 1.000 mètres.

2° A aucune distance, α n'est exactement proportionnel à $\sqrt{\omega}$ comme le voudrait la théorie. Cependant, à la distance de 1 mètre, le rapport

$$\frac{\alpha}{\sqrt{\omega}}$$

varie assez peu. Plus précisément la conductibilité σ que l'on calculerait à partir de ces données aurait des valeurs comprises entre $4{,}9 \times 10^{-13}$CGS (pour $f = 50$) et $2{,}8 \times 10^{-13}$CGS (pour $f = 2.000$) et variant assez régulièrement en fonction de la fréquence.

Le tableau III indique les valeurs de la conductibilité du sol calculées à partir des mesures effectuées sur la ligne à 1 mètre.

Le rapport $\frac{\alpha}{\sqrt{\omega}}$ varie beaucoup plus aux distances moyennes. Il semble qu'à 1.000 mètres, il tende à se rapprocher de la valeur qu'il présente à 1 mètre.

Digitized by Google

TABLEAU III

Valeurs de la conductibilité du sol, calculées à partir des mesures effectuées sur la ligne à 1 mètre.

Fréquence f	Conductibilité σ
16 2/3	$4{,}6 \times 10^{-13}$
50	4,9
150	4,88
200	4,47
300	4,05
400	3,70
600	3,56
800	3,46
1 000	3,28
1 200	3,05
1 400	2,93
1 600	2,82
1 800	2,90
2 000	2,80

Pour interpréter ces résultats, il convient de remarquer que la formule de Carson-Pollazeck se présente comme la solution, analytiquement très approchée, d'un problème dont certaines données correspondent bien, dans l'ensemble, aux conditions dans lesquelles ont été faits les essais.

Au contraire d'autres formules proposées antérieurement, cette formule suppose que des courants de conduction (courants induits ou de retour), ne peuvent circuler que dans le sol, assimilé au solide indéfini limité seulement par un plan horizontal.

Quelques hypothèses simplificatrices sont introduites pour pouvoir conduire les calculs jusqu'au bout ; on assimile les conducteurs rectilignes de section extrêmement petits, de longueur indéfinie.

D'autre part, on considère que les courants de déplacement dans l'air sont absolument sans importance en ce qui concerne la détermination du champ électromagnétique.

Cependant il ne serait pas impossible de s'assurer a posteriori que l'ordre de l'approximation réalisée en simplifiant ainsi les donnécs du problème est tout à fait satisfaisant au point de vue pratique.

La non concordance entre les résultats expérimentaux et les résultats du calcul fait au moyen de la formulé Carson-Pollazek, ne pouvant

Digitized by Google

être attribuée à une inexactitude des développements théoriques, montre donc que, à Döberitz, il s'est rencontré des circonstances dont la théorie n'avait pas tenu compte.

Dans le problème étudié analytiquement, il a été supposé que le sol était assimilable à un conducteur de conductibilité uniforme : cette hypothèse en soi n'est pas absurde. On conçoit très bien la possibilité de trouver des régions où, sur de grandes surfaces et à une très grande profondeur, la conductibilité du sol serait à peu près uniforme. C'est cependant cette circonstance qui ne s'est pas rencontrée au lieu des essais en question.

Il est d'ailleurs à présumer que, dans la généralité des cas, la conductibilité du sol ne sera pas uniforme au voisinage des lignes d'énergie. Doit-on tirer prétexte de ce fait, pour se refuser en considération toute théorie, c'est-à-dire, en définitive, pour renoncer à toute prédétermination, même approximative, du coefficient d'induction mutuelle entre deux lignes ?

On doit remarquer que, à la lumière des développements théoriques, il est possible de trouver a posteriori une explication des résultats obtenus à Döberitz.

Si, au lieu d'être uniforme comme le supposent les calculs, la conductivité du sol est à peu près constante dans un même plan horizontal, mais varie lorsque la profondeur des couches augmente, les résultats du calcul n'ont plus leur valeur quantitative, mais, en gros, représentent toujours l'allure générale du phénomène.

Or, ces calculs montrent que la répartition des courants circulant dans le sol, est d'autant plus dense dans les couches supérieures du sol, que la fréquence du courant est plus élevée.

Si donc la conductivité du sol croît lorsque la profondeur augmente, il arrive que les courants de basse fréquence pénètrent dans les couches les plus conductrices, beaucoup plus que les courants de fréquence élevée. On conçoit que, dans ces conditions, le phénomène puisse se passer en gros dans une certaine région comme si le sol était remplacé par un conducteur homogène, dont la conductivité serait d'autant plus grande que la fréquence est plus basse.

Cependant, au voisinage immédiat du fil inducteur, l'effet prépondérant serait celui des nappes de courant les plus rapprochées. On pourrait donc, dans ces conditions, admettre l'existence d'une conductivité apparente différent assez peu de la conductivité vraie à la surface.

Quoi qu'il en soit, il apparaît qu'il serait intéressant de poursuivre

Digitized by Google

les études théoriques pour se rendre compte des conditions dans lesquelles la formule de Carson-Pollaczek constitue une première approximation intéressante.

Il faut reconnaître, en effet, que dans le cas particulier des essais de Döberitz, et à la condition de faire intervenir dans l'expression de α, une valeur convenable de la conductivité apparente du sol (qui serait déterminée par une mesure du coefficient d'induction mutuelle, pour la fréquence considérée, entre deux lignes situées à une distance moyenne l'une de l'autre) on peut utiliser la formule de Carson-Pollaczek pour représenter, dans de très larges limites, avec une approximation excellente, la variation en fonction de la distance du coefficient d'induction mutuelle relatif à une fréquence constante.

Si les essais de Döberitz n'avaient comporté de mesures qu'à une une seule fréquence, quelconque d'ailleurs, on aurait été tenté de conclure triomphalement que la formule représentait exactement la loi du phénomène.

On trouvera dans le tableau IV, le résultat du calcul effectué en adoptant pour valeur de α une valeur moyenne résultant des mesures

TABLEAU IV

Coefficients d'induction mutuelle calculés.

Fréquences	α	σ	Distances					
			1 m.	10 m.	100 m.	500 m	750 m.	1000 m.
	$\times 10^{-5}$	10^{-13}	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$
16 2/3	3,72	10,5	12,5	7,98	3,58	0,982	0,556	0,328
50	4,75	5,7	12,0	7,49	3,23	0.710	0 362	0,195
150	5,93	2,96	11,6	7,06	2,72	0,500	0,223	0,121
200	6,50	2,68	11,4	6,88	2,58	0,426	0,182	0,096
300	7,06	2,10	11,2	6,74	2 43	0,381	0,152	0,081
400	7,76	1.90	11,1	6,58	2,26	0,301	0,123	0,066
600	8,78	1,63	10,7	6 29	2,03	0,233	0,093	0,052
800	9,50	1,43	10,6	6,13	1,95	0.195	0,079	0,044
1 000	10,4	1,37	10,5	6 0	1,80	0.159	0 065	0,037
1 200	10,9	1,26	10,4	5,81	1,73	0,143	0,060	0,034
1 400	11,5	1,20	10,3	5,73	1.65	0,126	0,053	0,031
1 600	12,0	1,14	10,2	5,64	1,58	0,115	0 049	0,028
1 800	12,5	1,10	10,1	5,55	1,53	0,107	0,045	0,024
2 000	12,9	1,05	10,0	5,50	1,48	0,098	0,042	0,021

Digitized by Google

faites à 100, 500 et 750 mètres. On constatera que les chiffres ainsi calculés diffèrent souvent de moins de 5 pour cent des chiffres du tableau I.

CONCLUSION

Il est évident que des mesures nombreuses faites dans des circonstances diverses seront nécessaires pour acquérir quelques notions précises, sur la valeur à attribuer au coefficient d'induction mutuelle entre deux lignes parallèles.

Cependant, l'examen des résultats déjà obtenus et leur comparaison avec les indications de la théorie, font ressortir quelques particularités dont la connaissance est utile pour la préparation et la discussion d'expériences nouvelles.

Le coefficient d'induction mutuelle entre deux lignes avec retour par le sol, dépend de la distance entre ces deux lignes.

Il dépend aussi de la fréquence du courant et de la conductivité du sol.

Il convient de ne pas oublier que, jusqu'à ces toutes dernières années, il était admis que le coefficient d'induction mutuelle de deux lignes avec retour par le sol devait être à peu près indépendant de la fréquence, au moins pour de basses fréquences, et devait dépendre assez peu de la conductivité du sol : on n'hésitait guère à comparer les uns aux autres des coefficients d'induction mutuelle mesurés dans des conditions notablement différentes, quitte à s'étonner de ne pouvoir tirer aucune idée précise de cette comparaison.

Cependant les essais de Döberitz montrent quelque chose de plus : en général, l'hypothèse simplificatrice d'une conductivité uniforme du sol, dans une région donnée, ne permet pas de rendre exactement compte des faits. Elle demande à être complétée. Des essais nouveaux devront donc être multipliés dans des terrains divers, pour montrer si l'adjonction d'un paramètre supplémentaire aux données du problème théorique ne rend pas possible une description plus exacte du champ magnétique d'une ligne inductrice.

NOTE COMPLEMENTAIRE

Le n° 14 de 1927 de l'*Elektrotechnische Zeitschrift* (7 avril) publie une note de M. G. Haberland, dans laquelle est étudié le problème déjà résolu par MM. Carson et Pollaczek.

La méthode employée ne diffère pas de celle qu'avait utilisée

Digitized by Google

M. CARSON. Les résultats sont exprimés sous une forme équivalente à celle que leur avait donnée M. POLLACZEK.

M. HABERLAND indique que, dans une publication antérieure, il a montré comment on peut, dans une certaine mesure, tenir compte de l'inégale répartition de la conductivité spécifique du sol.

Il donne enfin une formule empirique permettant de calculer simplement, avec une approximation assez bonne, le module des valeurs du coefficient d'induction mutuelle de deux circuits unifilaires parallèles. Cette formule est la suivante :

$$M = \mathrm{Log}_e \left[1 + \frac{4{,}84}{(\alpha r)^2} \right].$$

Cette valeur du module de M ne diffère pas de celle qu'aurait le coefficient d'induction mutuelle de deux circuits parallèles de longueur indéfinie, qui comprendraient chacun un des fils aériens et d'autre part un conducteur de retour filiforme situé à une distance du fil aérien égale à :

$$\frac{2{,}2}{\alpha} = \frac{2{,}2}{\sqrt{4\pi\sigma\omega}} \quad \text{C. G. S.}$$

Cette remarque est du plus haut intérêt.

Pendant fort longtemps — et maintenant encore dans certains pays, on a admis, sans justifications théoriques bien plausibles, que les effets d'induction magnétique entre circuits unifilaires parallèles, pouvaient être étudiés en considérant un conducteur fictif de retour. C'est au moyen de formules, établies à partir de cette hypothèse, que l'on s'est attaché à rapprocher, les uns des autres, les résultats de mesures, très dispersées, faites dans des conditions diverses.

La remarque de M. HABERLAND, a pour conséquence de garder quelque valeur aux travaux faits dans ces conditions : la considération du conducteur fictif de retour, placé à une profondeur convenable, permet de se rendre compte assez exactement de la variation du module du coefficient d'induction mutuelle de deux circuits unifilaires, en fonction de la distance, lorsque sont bien déterminées la conductivité du sol et la fréquence du courant alternatif.

Nous devons signaler qu'antérieurement à ces travaux et à partir de considérations assez différentes, M. BRYLINSKI s'était attaché à justifier l'hypothèse du conducteur fictif de retour : il avait notamment indiqué que, si cette hypothèse devait être retenue, l'expression de la profondeur du conducteur fictif serait nécessairement de la forme :

$$\frac{A}{\sqrt{4\pi\sigma\omega}},$$

lorsque la conductivité du sol est uniforme.

Digitized by Google

L'ÉVOLUTION RÉCENTE DANS LA CONSTRUCTION DU MATÉRIEL ROULANT ET DE L'ÉQUIPEMENT DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES (1)

par M. BACQUEYRISSE.

Directeur général de l'Exploitation et des Services Techniques de la S.T.C.R.P.

Après avoir signalé les obstacles financiers qui ont empêché le matériel de tramway d'accomplir des progrès aussi rapides que ceux réalisés dans le matériel automobile, l'auteur examine les tendances modernes dans l'évolution des différents organes.

Pour le châssis, en Europe : voitures à essieux parallèles et à grand empattement ; voitures à 50 places ; suspension entièrement élastique du moteur, transmission à la cardan, freinage par mâchoires sur tambour calé sur l'arbre ; emploi simultané de ressorts à lames et en hélice ; suspension pendulaire ; essieux en aciers spéciaux ; bandages cylindriques en aciers très durs ; châssis en acier embouti. Pour la caisse : simplification des lignes, suppression des impériales ; voitures à un seul agent.

Pour l'équipement électrique, supériorité du courant continu à 750 V au maximum ; moteur série à pôles de commutation et autoventilé ; carcasse en une seule pièce, roulements à billes, emploi de l'acier au silicium pour les masses polaires et le noyau d'induit, sondes thermométriques, équipements de contrôle à unités multiples ; perfectionnements apportés à l'organe de prise de courant, trolley, archet, charrue ; aux circuits d'éclairage et de chauffage ; système de freinage électromagnétique et rhéostatique. Le conférencier résume, en terminant, les traits qui doivent caractériser le type de tramway de l'avenir.

PRÉAMBULE

On a souvent signalé le caractère laborieux de l'évolution des tramways en l'opposant à la progression rapide de la construction automobile.

Il faut cependant reconnaître que la technique automobile a bénéficié d'un concours de circonstances, qui ont puissamment contribué à accélérer son évolution.

La popularité de l'engin qui, par ses réalisations modestes, est de-

(1) Communication présentée à la séance mensuelle de la *Société Française des Électriciens* du samedi 2 avril 1927.

Digitized by Google

venu véritablement démocratique a, en premier lieu, développé rapidement le nombre des initiés aux dispositifs mécaniques les plus courants et suscité des poussées d'opinion vers certains perfectionnements.

La concurrence intense qui s'est exercée entre de nombreux constructeurs de toute nationalité, aiguillonnés par des compétitions sportives au retentissement énorme, a, d'autre part, constitué un facteur primordial de progrès.

Pendant que l'automobile connaissait un essor remarquable, le tramway demeurait un peu l'enfant pauvre de la grande famille des véhicules et n'évoluait qu'avec une sage lenteur. Deux causes fondamentales paralysaient, en effet, son amélioration :

D'une part, les exploitants ont été fréquemment bridés par des soucis d'ordre fiancier. Les recherches, les réalisations de modèles d'essais, leur mise au point sont des opérations onéreuses et difficilement compatibles avec un budget, dont il faut, avant tout, réaliser l'équilibre. Max ALBRECHT écrit, à ce propos, qu'en Allemagne :

« La mise en application de conceptions nouvelles rencontre beaucoup de résistance. Les fabricants de matériel hésitent à se risquer dans de nouvelles voies et les entreprises de tramways sont bridées, soit par des groupes financiers, soit par des Municipalités, peu enclins à se poser en pionniers du progrès. On cherche, la plupart du temps, à s'approprier des dispositifs qui ont fait depuis longtemps leurs preuves chez le voisin. Il n'est donc pas étonnant que le tramway électrique soit à peine sorti de l'enfance » (1).

D'autre part, pendant trop longtemps, on a voulu assimiler le traway au chemin de fer et attendre les progrès de l'un, du développement de l'autre et de même que pour les voitures de chemin de fer, on a cherché à accroître de plus en plus la capacité et, par suite, le poids des voitures. Certains réseaux, et notamment les Américains, ont construit des voitures de tramways, dont le poids a atteint et même dépassé 30 tonnes.

Les résultats d'exploitation de ces voitures lourdes ont été décevants.

Cet état d'esprit est demeuré tellement ancré chez certains techniciens qu'en 1923, M. SPENCER (2), l'Ingénieur anglais bien connu qualifiait de « révolutionnaire » une nouvelle motrice parisienne

(1) Verkehrstechnik, 19 juin 1925, *Le tramway de l'avenir*, par Max ALBRECHT.
(2) T. R. W., juillet 1923. Intervention de M. SPENCER au Congrès de l'Association Britannique des Tramways et des Chemins de fer d'intérêt local.

Digitized by Google

inspirée beaucoup plus de la technique automobile que des règles appliquées en matière de chemin de fer.

La période difficile d'après-guerre, avec le renchérissement brutal de la main-d'œuvre et des matières premières, a eu au moins cet effet heureux, pour les firmes continentales, d'imposer comme une nécessité la réduction des frais d'établissement et des frais d'exploitation proprement dits.

M. SEEFEHLNER, en Allemagne (1), MM. MOORE (2) et RAYNER (3), en Angleterre, affirment la nécessité de réviser l'ensemble de la construction des tramways et de construire léger.

Une tendance très nette se fait jour, non seulement en Europe, mais aussi en Amérique : l'allégement des voitures de tramways et particulièrement la réduction de leur poids non suspendu élastiquement.

Les deux principaux résultats de ces efforts sont :

— la réalisation des voitures à un seul agent, dont le développement en Amérique et même sur notre Continent croît de jour en jour ;

— la construction de motrices légères s'inspirant délibérément de la construction automobile et en adoptant les dispositifs principaux : moteur entièrement suspendu élastiquement, transmission par arbre longitudinal, frein sur transmission, etc...

En ce qui concerne ces motrices légères, construites pour la première fois en France sur une échelle industrielle, il appartenait aux Ingénieurs de la Compagnie Générale des Omnibus de Paris, chargés d'assurer simultanément une exploitation par omnibus automobiles et par tramways, d'appliquer à la construction des tramways les principes qui avaient fait leurs preuves dans la construction des omnibus automobiles.

Peu après, l'expérience réalisée à Paris a été tentée en Allemagne et, ultérieurement, en Angleterre.

Le cadre de cette communication ne me permettra pas d'aborder l'examen des points de détails, et je me limiterai aux dispositions d'ensemble.

Ceux que la question intéresse pourront consulter utilement les divers travaux de l'Union des voies ferrées d'Intérêt Local et des Transports Publics Automobiles de France et, en particulier, le travail très documenté de mon collaborateur, M. CASTAING, Ingénieur en

---

(1) Compte rendu du Congrès de l'Association Internationale des Tramways et des Chemins de fer d'intérêt local, Vienne 1924.
(2) E. R. T. J. 14 décembre 1923.
(3) E. R. T. J. 14 décembre 1923.

Digitized by Google

Chef de la Traction et du Matériel de la S.T.C.R.P., travail communiqué à l'Assemblée Générale Technique d'octobre 1921, de cette Union.

J'examinerai donc rapidement les tendances modernes de l'évolution des différents organes des tramways en m'attachant plus particulièrement aux dispositifs de conception récente, et qui paraissent devoir s'imposer. Dans cette étude, je ne parlerai pas des véhicules à grande vitesse sur plateforme indépendante qui, à mon avis, sortent de la définition habituelle du tramway.

Nous envisagerons successivement :

— le châssis ;

— la caisse ;

— l'équipement électrique.

CHAPITRE I

Châssis.

A. — Généralités.

D'après la disposition du train roulant, les voitures motrices de tramways peuvent se classer en trois grandes catégories :

1° Voitures à essieux parallèles ;

2° Voitures à bogies ;

3° Voitures à essieux radiants et bissels.

1° *Voitures à essieux parallèles.*

D'une façon générale, le dispositif du parallélisme des essieux permet, par rapport aux systèmes à bogies, la réalisation d'une motrice de poids moins élevé conduisant à une consommation d'énergie moindre et une moindre usure des voies.

L'ensemble mécanique est plus simple et, par suite, d'un prix d'établissement et d'un entretien plus réduits.

Empattements. — La réalisation de tels véhicules est toutefois liée à la possibilité d'adopter des empattements (écartement entre essieux), qui permettent l'emploi d'une caisse de longueur et de capacité suffisantes.

L'examen du meilleur empattement à adopter pour la construction des véhicules, malgré les études qui ont été publiées et que tous les

Digitized by Google

Ingénieurs de tramways doivent connaître, n'a pas été, à mon avis, suffisamment approfondi par la plupart des Constructeurs de matériel et, malgré les résultats obtenus avec les voitures à grand empattement, on trouve encore des Ingénieurs qui hésitent à les adopter.

Le châssis à essieux parallèles a vu, en effet, pendant longtemps, son développement entravé par les faibles valeurs adoptées pour l'empattement, qui limitaient ses applications à des voitures de longueur réduite et, par suite, de faible capacité.

Cette tendance était particulièrement marquée en Europe où l'on trouvait rarement, avant 1914, des empattements dépassant 2 mètres.

De nombreux techniciens des tramways pensaient, en effet, que cet écartement constituait l'empattement maximum compatible avec l'emploi de rails à gorge et de courbes de 18 mètres de rayon, (rayon généralement le plus réduit dans les réseaux urbains).

Les empattements couramment usités aux Etat-Unis, en voie normale, avec des courbes de rayon inférieur à 18 mètres, étaient un peu supérieurs : 2 m 286, 2 m 458 et rarement davantage.

En 1909, les tramways de Vienne expérimentèrent la cote de 3 m 600 et obtinrent des résultats pratiques extrêmement intéressants. Sur ces bases, j'ai fait procéder à la même époque à la modification de quelques unités des tramways de Bordeaux, en portant leur empattement de 2 m 130 à 3 m 500. Ultérieurement, j'ai eu l'occasion de démontrer qu'un véhicule à deux essieux parallèles, à roues de 800 mm et mentonnet de 18 mm, pouvait s'inscrire dans une courbe de rayon égal à cinq fois l'empattement (3 600 $\times$ 5 = 18 m) (1).

Il restait à vérifier ces prévisions dans l'application pratique.

C'est sur les données précédentes, qu'a été réalisée la motrice type G de la C.G.O. Cette motrice présente un empattement de 3 m 600, une longueur de 11 m 310 et s'inscrit facilement dans les courbes de 18 mètres des lignes de Paris et sa banlieue.

On a soulevé fréquemment l'objection que les voitures à grand empattement devaient entraîner, sur les lignes à courbes fréquentes, une usure des bandages et des rails plus importante que les voitures à bogies.

Ces craintes n'ont pas été vérifiées et l'expérience a montré que, toutes choses égales d'ailleurs, le parallélisme des essieux s'avérait, en ce qui concerne l'usure des bandages, aussi favorable que les disposi-

(1) Voir mon rapport préparé pour le Congrès International des Tramways, qui devait se tenir à Budapest en 1914 (« L'Industrie des Tramways et des Transports publics Automobiles », nos 97 à 105, de janvier à septembre 1915).

Digitized by Google

tifs de trains roulants orientables ; au contraire, on a constaté, avec des voitures à grand empattement, que le moindre jeu entre les boîtes à graisse et les trucks, permettant un léger déplacement radiant des essieux, entraînait une usure beaucoup plus grande des mentonnets.

On note, depuis quelques années, une tendance assez nette en Europe, à développer la construction des véhicules à essieux parallèles.

Les Américains paraissent, au contraire, réfractaires à cette tendance et le pourcentage des voitures de ce type construites chaque année ne marque aucune progression sensible. La raison paraît être la capacité importante que les Américains ont coutume de demander à leurs tramways.

Il est bien évident que le dispositif à deux essieux parallèles ne permet pas d'augmenter, au delà d'une certaine limite, la longueur des véhicules. Mais j'estime que pour des réseaux urbains ou suburbains desservant la banlieue immédiate, les véhicules avec châssis à essieux parallèles à grand empattement permettant de réaliser une capacité de 50 places avec le gabarit de 2 mètres, sont appelés à se substituer aux autres systèmes : *à fortiori* lorsque le gabarit est supérieur à 2 m ; avec le gabarit américain de 2 m 641, la capacité peut facilement être portée à 75 places sans impériale.

C'est la tendance européenne actuelle, concrétisée par l'exemple des tramways de Paris :

	486	voitures G, du réseau C.G.O., construites avant ou après 1914 ;
	187	voitures C, de l'ancien réseau T.P.D.S., datant d'avant 1914 ;
	475	voitures type L, récemment construites ;
soit, au total :	1 148	voitures de 3 m 600 d'empattement pour la région parisiennne, comportant, comme je l'ai déjà dit, des rayons minima de 18 m.

— de Berlin (500 voitures mises récemment en construction) ;
— de Hambourg ;
— de Hull.

Il n'est pas sans intérêt de signaler que la majorité des véhicules à un seul agent construits en Amérique au cours de ces dernières années, sont à essieux parallèles. En 1923, 1924, 1925, sur l'ensemble

Digitized by Google

des motrices du type « one man's » construites dans ce pays, la proportion de voitures à essieux parallèles a été respectivement :

62 pour cent, 55 pour cent et 75 pour cent (1).

2° *Voitures à bogies.*

L'emploi des bogies permet d'adopter des caisses de grande longueur, dépassant notablement les cotes de 11 à 12 mètres, qui constituent des maxima pour les véhicules à essieux parallèles, en raison des porte-à-faux.

Par suite, les bogies paraissent ne devoir s'imposer que pour des trafics suburbains de grande banlieue, pour lesquels les nécessités d'exploitation exigent une très grande capacité et une grande vitesse. Aux grandes vitesses, en effet, les voitures à bogies sont moins sensibles que les voitures à essieux parallèles, aux parties défectueuses de la voie.

Les châssis à bogies constituent le type actuellement le plus répandu en Amérique. Si l'on se reporte aux statistiques de ces trois dernières années, on voit, en effet, que la proportion de véhicules à bogies construits dans ce pays, par rapport à la totalité du matériel nouveau, atteint 90 pour cent en 1923, s'élève à 95 pour cent en 1924 et se maintient à 93 pour cent en 1925 (2).

Comme je l'ai indiqué précédemment, cette quasi-exclusivité est due au fait que les Américains, à tort ou à raison, paraissent affectionner les voitures de grande capacité. On trouve, par exemple, à New-York et New Haven des motrices sans impériale de 106 et 120 places pour des trafics urbains. On rencontre cependant les bogies dans des voitures de moyenne capacité transportant 40 à 70 voyageurs et l'on peut se demander la raison de cet état de choses, car les réseaux américains ne présentent pas de lignes à courbes particulièrement fréquentes ou de faibles rayons et le gabarit de 2 m 641, permet, avec les empattements d'usage courant en Europe, d'obtenir des capacités atteignant, comme je l'ai déjà dit, 75 places sans impériale.

Jusqu'à cette capacité, le bogie conduit, sans contrepartie appréciable, à un poids total de voiture supérieur à celui du véhicule à essieux parallèles et à des dépenses de premier établissement et d'entretien supérieures.

---

(1) Statistiques annuelles publiées par l'*E. R. J.*
(2) Statistiques *E. R. J.*, 1923, 1924, 1925.

Digitized by Google

Nous estimons qu'à cet égard, les conceptions européennes constituent un progrès marqué sur les conceptions américaines.

Construction des bogies. — Le fait marquant est l'emploi de plus en plus étendu des emboutis en remplacement de l'acier moulé.

L'embouti permet d'obtenir une réduction de poids appréciable.

Types modernes de bogies. — Les deux types principaux de bogies :

— le bogie à roues égales ;

— le bogie dit maximum traction ;

s'utilisent dans des cas bien distincts.

Le bogie à roues égales s'emploie avec équipements à quatre moteurs, ou lorsque les voitures à deux moteurs desservent des lignes à profil peu accidenté.

Le bogie maximum traction est indiqué pour les voitures à deux moteurs, circulant sur des lignes à rampes moyennes.

Parmi les types les plus modernes de bogies, on peut citer le bogie Brill et le bogie de la motrice C.G.O. type B, ce dernier conçu d'après les bogies de tramways d'Anvers et de Londres.

Ici, je dois faire connaître que le type de voiture à bogies C.G.O. n'aurait pas vu le jour, si les autorisations administratives relatives à la mise en service des voitures à grand empattement, avaient pu nous être données en temps voulu. (La convention passée entre la Compagnie Générale des Omnibus de Paris et la Ville de Paris, prescrivait en effet, dans son article 9, qu'à moins d'une autorisation spéciale, les caisses des voitures reposeraient sur des trucks dont les essieux seraient séparés par une distance de 2 m 15 au plus, ce maximum étant de 1 m 80 pour les bogies).

C'est, en effet, pressée par le temps et par l'obligation de remplacer à une date déterminée l'ancien mode de traction à air comprimé, que la Compagnie Générale des Omnibus a été dans la nécessité de faire construire 200 motrices à bogies maximum traction, en attendant que le modèle de voiture à grand empattement, dit type G, ait été adopté après un temps d'essai en service suffisant.

3° *Bissels et essieux radiants.*

Les types de bissels les plus connus sont le radiax de Brill C°, les bissels Lenkachsen, Ruighoffer, Böker, Mountain, Gibson et de Rechter. Les modèles les plus récents sont les systèmes Kamp et Delmez.

Les bissels présentent l'inconvénient de compliquer et d'alourdir le mécanisme de la voiture.

Digitized by Google

On revendique généralement en faveur de ce système, la facilité d'inscription en courbe permettant d'augmenter l'empattement des voitures.

Or, j'ai déjà indiqué qu'avec une forme appropriée des mentonnets, un véhicule à essieux parallèles peut facilement s'inscrire dans une courbe dont le rayon ne dépasse pas cinq fois l'empattement (conditions qui permettent, sur des réseaux présentant des courbes de 20 mètres de rayon minimum, l'emploi de véhicules avec empattement de 4 mètres). On peut donc se demander pourquoi certains s'obstinent à employer des bissels, avec un écartement d'essieux ne dépassant pas l'écartement possible avec des essieux parallèles?

Divers systèmes de trucks à essieux radiants ont été, de même, essayés avec plus ou moins d'insuccès notamment à Birmingham. Le type le plus récent est celui de la motrice ALBRECHT KRUPP, de Dortmund.

Les considérations que je viens d'exposer à propos des bissels, s'appliquent évidemment aux essieux radiants. Je ne pense pas que ce dernier système ait quelque chance de développement plus étendu dans l'avenir. Il m'a été donné de constater que l'essieu avant dit radiant, ne radie jamais dans le sens nécessaire mais toujours dans le sens opposé.

Je vous donnerai au sujet des essieux radiants un renseignement amusant :

A la suite des propositions qui nous avaient été faites, par un constructeur de ce type de châssis et de la référence qui nous avait été donnée du réseau de Birmingham, j'ai eu la curiosité, au cours d'un voyage d'études en Angleterre, de voir de près les voitures de cette ville.

En faisant démonter devant moi les fameuses boîtes à graisse radiantes, j'ai pu constater que les ouvriers du dépôt, pour diminuer le plus possible les inconvénients constatés en exploitation, bouchaient les jeux prévus pour le déplacement des essieux dans les boîtes à graisse, au moyen de cales en bois, empêchant ainsi toute radiation ; ces trucks à essieux radiants fonctionnaient parfaitement comme trucks à essieux parallèles.

B. — MODE DE FIXATION DU MOTEUR. — TRANSMISSION.

Dans la grande majorité des voitures actuellement en service, les moteurs reposent, d'une part, sur les essieux et, d'autre part, soit sur

Digitized by Google

la caisse, soit sur un truck, soit encore sur des bogies, et attaquent les essieux par engrenages cylindriques.

Cette transmission présente l'inconvénient de charger les essieux d'un important poids mort non suspendu élastiquement.

Je soulignerai ici l'action néfaste sur les voies de la partie du poids des véhicules non suspendu élastiquement, lorsque ce poids non suspendu est important. C'est avant tout pour remédier à cet inconvénient que les constructeurs ont été conduits à réaliser des châssis à moteurs entièrement suspendus élastiquement.

Je m'étendrai quelque peu sur ces dernières réalisations qui me paraissent concrétiser d'une façon très nette, une des tendances modernes les plus caractéristiques.

Châssis à moteurs entièrement suspendus. — La réalisation de moteurs entièrement suspendus élastiquement, n'est cependant pas nou-

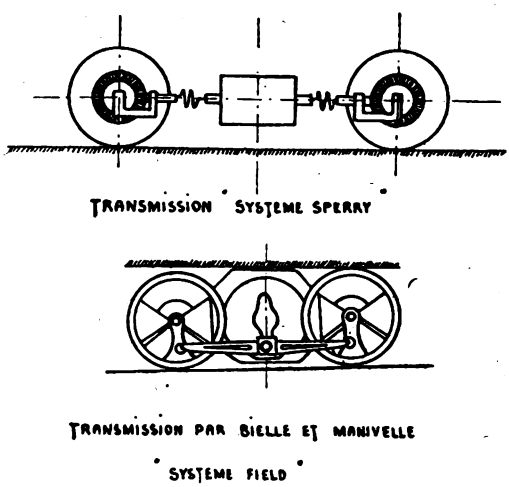


Fig. 1. — Transmission Sperry et transmission Field.

velle. Dès 1883, M. RAFFART calait l'induit du moteur sur un arbre creux concentrique à l'essieu, et portant un plateau d'accouplement relié aux roues par un lien souple en cuir. Les inducteurs et la carcasse étaient fixés à la caisse, la carcasse formant deux paliers pour l'arbre creux.

Ces applications sont toutefois demeurées exclusivement limitées au matériel de chemin de fer.

Les châssis à moteurs entièrement suspendus élastiquement, ont été réalisés par FIELD aux Etats-Unis en 1888 sur locomotive, puis vers la même époque par BENTLEY, KNIGHT, RAE et enfin SPERRY.

Digitized by Google

Ces châssis peuvent être considérés comme les ancêtres des châssis les plus modernes (figure 1).

Dans le dispositif SPERRY, le moteur était fixé au truck. Deux arbres de transmission courts réunis par un accouplement élastique et maintenus alignés par des paliers solidaires des essieux attaquaient ces derniers par pignons coniques.

Je rappelle que le mode de transmission par vis sans fin a fait l'objet de quelques applications aux tramways de Marseille (Oerlikon) et de Gênes (Siemens et Halske).

Aucun des systèmes précédents, n'a d'ailleurs fait l'objet d'applications étendues.

Il peut paraître étonnant que des dispositions genre SPERRY, par exemple, qui devaient connaître à plus de trente ans d'intervalle un renouveau d'actualité et donner naissance à des types perfectionnés de voitures, n'aient pas, à l'origine, procuré des résultats satisfaisants.

La raison de cette anomalie tient au fait qu'à l'époque envisagée, les techniciens ne bénéficiaient pas des données expérimentales issues, de nos jours, de la construction automobile.

En particulier, les propriétés et le mode d'emploi des aciers spéciaux étaient à peu près totalement inconnus et l'on était contraint de subir des usures d'engrenages absolument prohibitives.

C'est en 1920, que les Services Techniques de la Compagnie Générale des Omnibus de Paris, ont eu l'idée d'appliquer aux véhicules sur rails, les dispositifs de transmission éprouvés par l'expérience et qui avaient fait la fortune des voitures automobiles et c'est à la Société des Transports en Commun de la Région Parisienne, que revient l'honneur d'avoir réalisé *sur une échelle importante* le premier type comportant ce dispositif.

L'Allemagne s'est, à son tour, engagée dans la voie des réalisations et l'Angleterre a suivi avec quelque retard.

C'est ainsi que sont nées les conceptions voisines comme esprit, différentes comme réalisation, de la motrice type L à la Société des T.C.R.P., de la motrice ALBRECHT KRUPP des Tramways de Dortmund, de la motrice des Tramways de Berlin, de Hull et de Zurich.

Ces nouvelles motrices comportent comme caractéristiques essentielles : la suppression du truck, la suspension élastique des moteurs, la transmission par arbre à cardan longitudinal, le freinage par mâchoires sur tambour calé sur l'arbre de transmission.

Digitized by Google

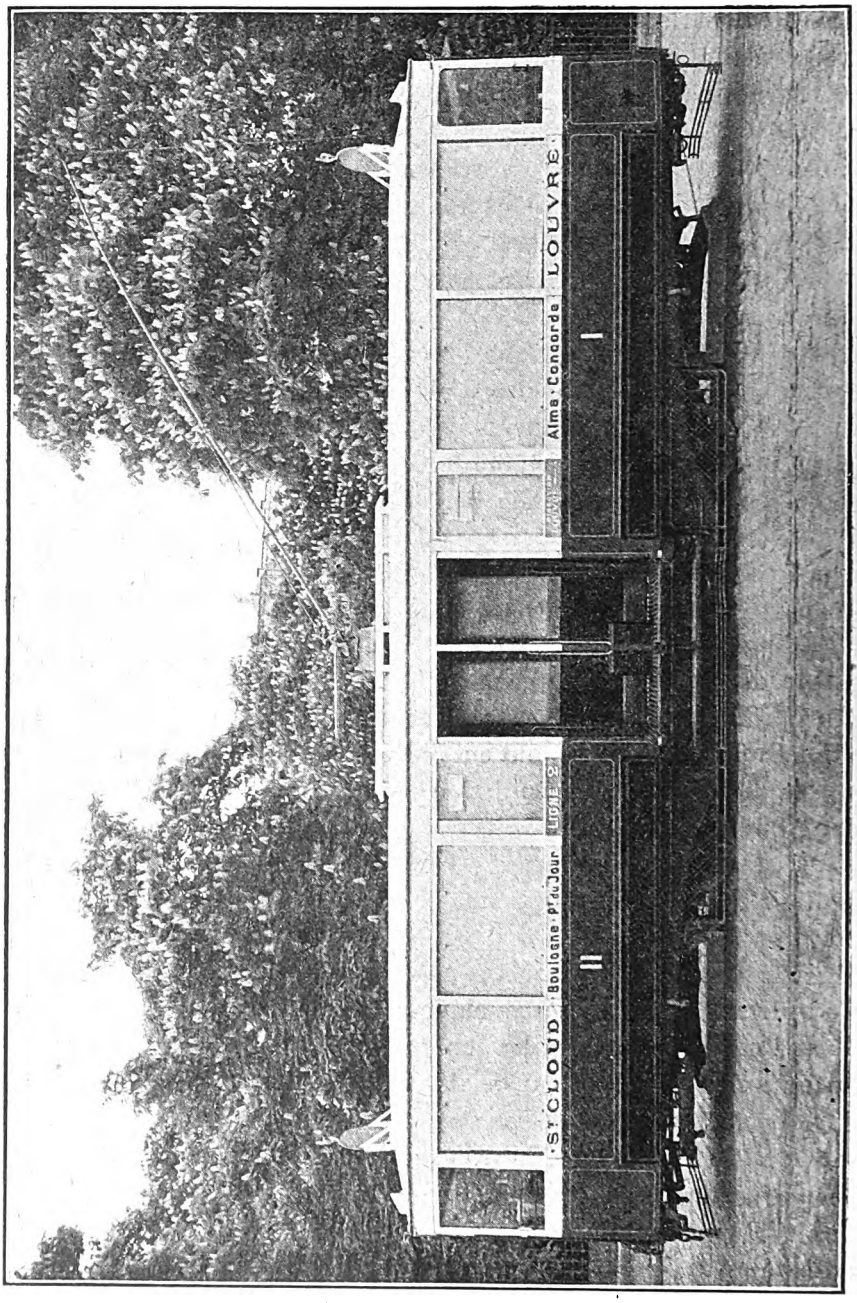


Fig. 2. — Motrice type L de la S. T. C. R. P.

Digitized by Google

1° *Motrice L de la Société des Transports en Commun de la Région Parisienne.*

La motrice type L de la S.T.C.R.P., dont 475 unités sont en service et ont actuellement parcouru, en service normal, près de quarante millions de kilomètres, est une voiture sans truck à deux essieux pa-

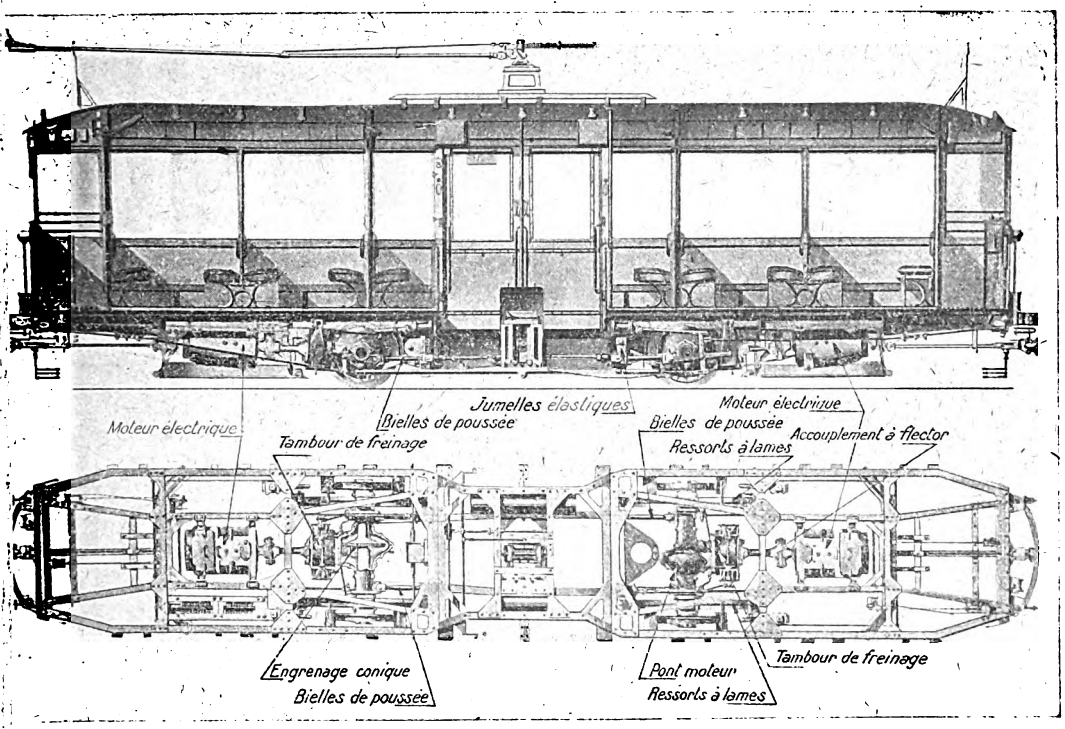


Fig. 3. — Motrice type L de la S. T. C. R. P. Châssis et coupe.

rallèles, d'empattement 3 m 600, pouvant transporter 49 voyageurs (figures 2 et 3).

Elle est munie de deux moteurs ventilés développant chacun, en puissance unihoraire, 50 chevaux au régime de 800 tours/minute.

Les moteurs sont directement fixés au châssis de caisse, en tôle emboutie ou pliée. Leur poids est donc entièrement suspendu élastiquement.

Le désir de réaliser un accès central des voyageurs facilité par un faible emmarchement, nous a conduits à placer les moteurs à l'extérieur des essieux et à réaliser un longeron de caisse à double décrochement.

Digitized by Google

La transmission de l'effort moteur aux essieux s'effectue par l'intermédiaire d'un arbre longitudinal, muni d'un accouplement élastique et d'un couple conique sous carter vers le centre de l'essieu.

L'effort de propulsion du pont est transmis au châssis de caisse par bielles de poussée.

Les ponts moteurs sont constitués de la façon suivante (figure 4).

L'essieu en acier chrome-nickel, traité pour obtenir une haute limite d'élasticité du métal, porte dans sa partie centrale un moyeu en acier estampé calé à la presse. Sur ce moyeu est boulonnée une cou-

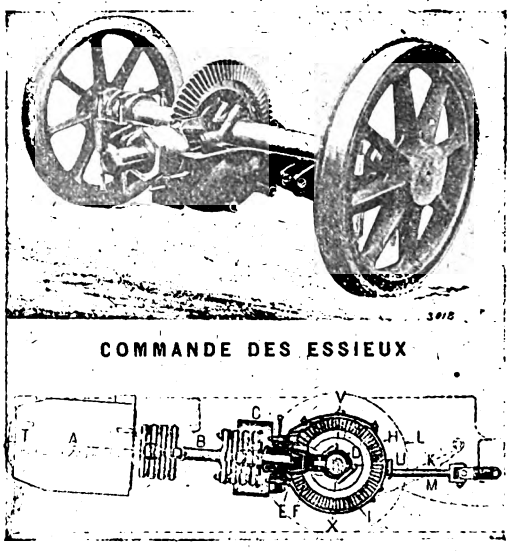


Fig. 4. — Motrice L de la S. T. C. R. P. Transmission et pont moteur.

ronne dentée, exécutée en deux pièces pour en permettre le remplacement sans nécessiter le démontage du centre de roues.

Le pignon conique de commande est monté de façon toute spéciale : afin de maintenir les conditions initiales d'engrènement du couple conique, le palier du pignon est porté par un bras reposant sur le carter par l'intermédiaire d'une rotule et sur l'essieu, par l'intermédiaire d'un palier.

Ce dispositif permet de maintenir dans un même plan, quelle que soit l'usure des coussinets de fusée, l'axe du pignon conique et l'axe de l'essieu.

Le graissage des paliers et organes du carter s'effectue par barbotage. La couronne dentée élève l'huile du demi-carter inférieur dans

Digitized by Google

des augets venus de fonte avec le demi-carter supérieur, et qui la distribuent aux différents paliers à lubréfier. Des tampons graisseurs assurent le graissage des fusées.

La liaison entre le moteur et le pont est réalisée par un accouplement déformable, permettant le libre jeu de la suspension.

Le dispositif d'accouplement comporte deux systèmes élastiques calés respectivement sur l'arbre moteur, et sur l'arbre de pignon et réunis par un arbre court intermédiaire rigide.

Le freinage, à commande pneumatique ou à la main, est réalisé par le serrage de mâchoires de frein sur un tambour calé sur chacun des arbres de pignon conique.

Pour un même nombre de places offertes, la motrice type L permet d'obtenir un gain de poids total de 2 tonnes par rapport à la motrice type G, qui constituait avant son apparition le véhicule le plus perfectionné de la S.T.C.R.P. et vraisemblablement un des plus modernes d'Europe et des plus confortables (double suspension avec traverse danseuse). Le poids total à vide est, en effet de 12 800 kg pour la motrice L contre 14 800 kg pour la motrice G, soit un gain de 13,5 pour pour cent.

On a parfois fait remarquer que des voitures de capacités analogues aux précédentes, avaient été réalisées en Amérique avec des poids inférieurs.

Je dois signaler à ce sujet que le gabarit transversal américain de 2,641 m, conduit pour une même capacité à un poids très inférieur au poids correspondant pour notre gabarit de 2,000 m.

En outre, les motrices types L et G sont équipées avec des moteurs dont la puissance totale unihoraire dépasse 100 ch, en vue de leur utilisation normale avec attelage, tandis que la puissance des moteurs du matériel léger américain dépasse rarement 50 ch.

Le poids relativement important de ces moteurs joint à celui des organes d'attelage et d'intercommunication, doit être pris en sérieuse considération.

Les poids des caisses des motrices L et G étant sensiblement les mêmes, la réduction porte presque exclusivement sur le poids non suspendu élastiquement ou tout au moins imparfaitement suspendu. Ce poids est de 2,7 T pour la motrice type L contre 6,4 T (Essieux et truck) pour la motrice type G. La réduction atteint ainsi 57 pour cent.

Enfin, la flexibilité totale de la suspension qui est de 6 mm par tonne dans la motrice G, atteint 10 mm par tonne dans la motrice L.

Digitized by Google

J'insiste sur l'avantage considérable, au point de vue de l'usure des voies, que l'on obtient avec une telle augmentation de la flexibilité de la suspension.

2° *Motrice Albrecht Krupp de Dortmund.*

Cette motrice est à essieux radiants de 4 m d'empattement.
Les deux moteurs, entièrement fixés au châssis de caisse, sont situés symétriquement de part et d'autre de l'axe longitudinal de la voiture et de l'axe transversal médian (fig. 5).

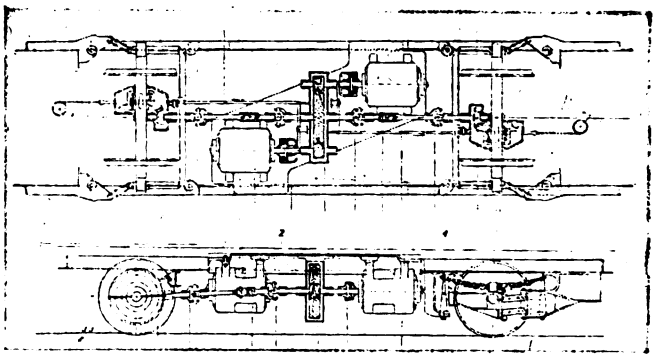


Fig. 5. Motrice Albrecht Krupp, de Dortmund (d'après Verkehrstechnik du 12-2-26).

Par rapport à la motrice L de la S.T.C.R.P., la motrice ALBRECHT KRUPP se différencie essentiellement par les systèmes suivants :

— Double démultiplication (inhérente au principe même de transmission), entre moteurs et essieux ;

— Joints à cardans ;

— Double système de freins à mâchoires agissant sur deux tambours calés sur les arbres d'induits ;

— Châssis support des organes principaux de commande.

3° *Motrice des Tramways de Berlin.*

En septembre 1924, les tramways de Berlin et la Société d'Automobiles N.A.G. ont réalisé une motrice (figure 6) à moteurs entièrement suspendus élastiquement à l'aide d'éléments existants : moteurs à paliers d'essieux et pièces détachées d'automobile.

Digitized by Google

La motrice est à deux essieux parallèles, sans truck et de 2 800 m d'empattement.

fixés directement sur le châssis de caisse. L'effort moteur est transmis aux roues par un arbre court à cardan et une combinaison d'engrenages cylindriques et coniques sous carter, produisant l'attaque désaxée des

Elle comporte deux moteurs A.E.G. de 45 ch au régime de 800 t/mn essieux.

4° *Motrice Rayner des Tramways de Hull.*

Les tramways de Hull ont construit, en 1922, sur les directives de M. Rayner, une motrice sans truck à moteurs entièrement suspendus élastiquement, dont les caractéristiques générales sont les suivantes :

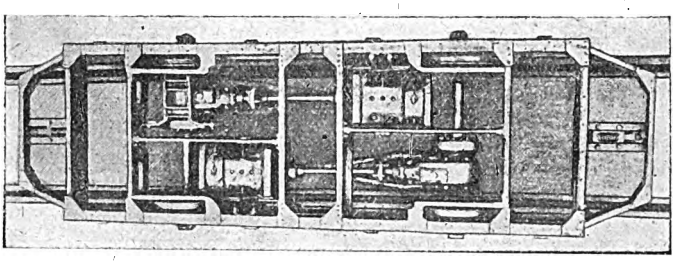


Fig. 6. — Motrice des Tramways de Berlin.
Transmission (d'après Verkehrstechnik du 19-2-26).

— Deux essieux parallèles, d'empattement 2,128 m ;
— Caisse à impériale ;
— Capacité : 60 places assises.

Les deux moteurs de 42 ch au régime de 1 150 t/mn, fixés au châssis de caisse de part et d'autre de l'axe longitudinal du véhicule, attaquent les essieux par l'intermédiaire de longs arbres à cardans parallèles et d'une transmission à vis permettant d'obtenir une grande démultiplication. Le moteur situé à une extrémité du châssis de caisse, attaque l'essieu situé à l'extrémité opposée.

D'après certaines déclarations de M. Rayner, ce système utiliserait le serrage de mâchoires de frein sur tambours calés sur les arbres de transmission.

5° *Motrice des Ateliers Suisses de Locomotives et de Winterthur, en essai aux Tramways de Zurich.*

Cette motrice (fig. 7 et 8) est caractérisée par un châssis de guidage disposé entre les essieux principaux.

Digitized by Google

Ce châssis comporte deux longerons auxquels sont solidement fixés les moteurs. Ces longerons s'appuient eux-mêmes par l'intermédiaire de ressorts en hélice, sur deux essieux munis de roues de petit diamètre.

La transmission du mouvement aux essieux moteurs est constituée

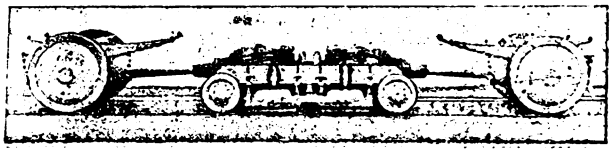


Fig. 7. — Motrice des Tramways de Zurich.
Ensemble du châssis (d'après Verkerhstechnik du 8-10-26).

par un arbre à cardan, à rotule sphérique attaquant les roues par un système d'engrenages, comportant un couple conique monté sur un arbre séparé et deux couples cylindriques entraînant chacun une roue.

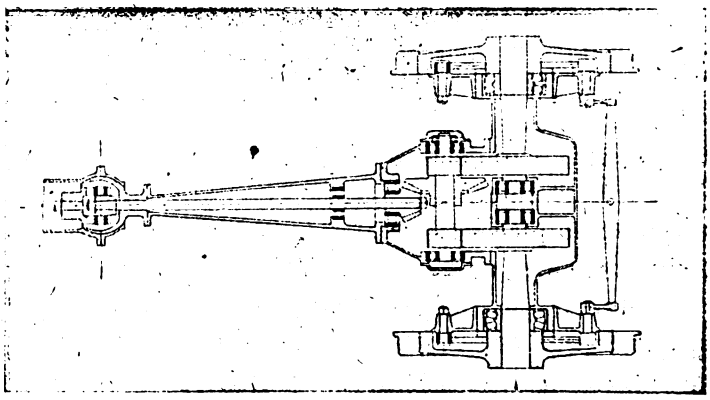


Fig. 8. — Motrice des Tramways de Zurich.
Coupe du pont (d'après Verkerhstechnik du 8-10-26).

Cette motrice pourrait s'inscrire avec un empattement de 5,200 m dans les courbes de 15 m de rayon.

Signalons encore le mode particulier de suspension de la caisse. Les ressorts sont fixés sur des supports formant pivot et reposant sur les essieux. La caisse est fixée aux extrémités des ressorts.

Le freinage est réalisé par des patins articulés, portant sur les bords intérieurs des roues et commandé par une timonerie équilibrée.

Digitized by Google

6° *Motrice de la Société de Construction et d'Entretien de Matériel Industriel et Agricole, étudiée pour les réseaux de Toulouse et de Buenos-Ayres.*

Cette motrice (fig. 9, 10 et 11), présente les caractéristiques géné-

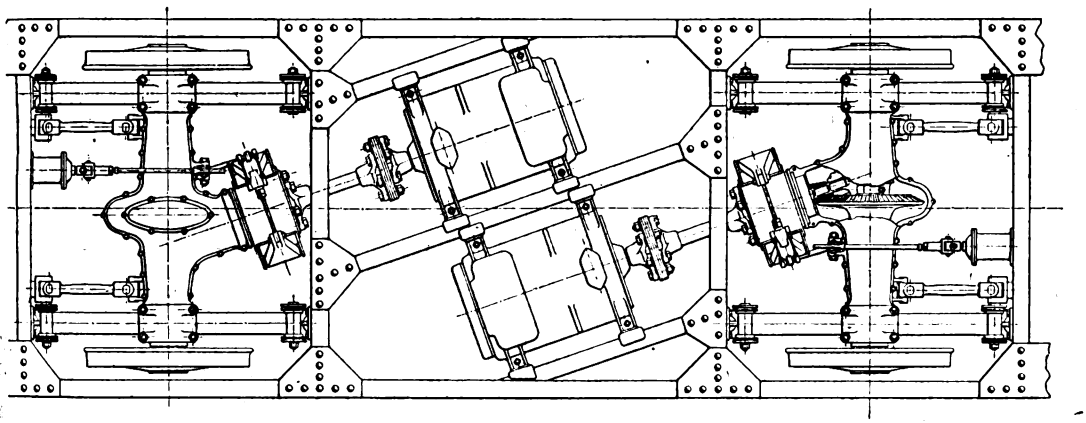


Fig. 9. — Motrice de la S. C. E. M. I. A. Transmission. (Cliché E. et M.)

rales de la motrice type L de la S.T.C.R.P. Toutefois, afin de répondre

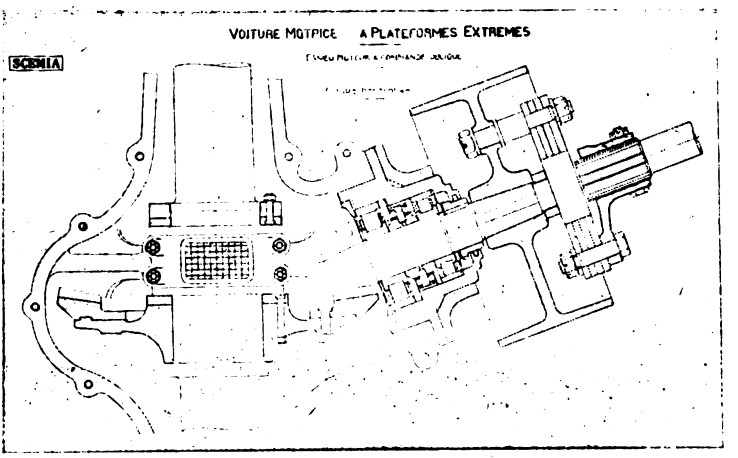


Fig. 10. — Motrice de la S. C. E. M. I. A. Coupe du pont.

aux conditions locales et aux desiderata des exploitants qui préfèrent les caisses à plateformes extrêmes, l'empattement a dû être réduit à 3,00 m. Cette cote a conduit à la disposition oblique des moteurs par rapport à l'axe longitudinal de la voiture.

Digitized by Google

Résultats expérimentaux.

A l'heure actuelle, seule, la motrice L, de Paris, a fait l'objet d'une expérimentation suffisamment étendue pour qu'il soit possible de communiquer des résultats de quelque valeur, les autres voitures étant encore dans la période d'essai ou de début de service.

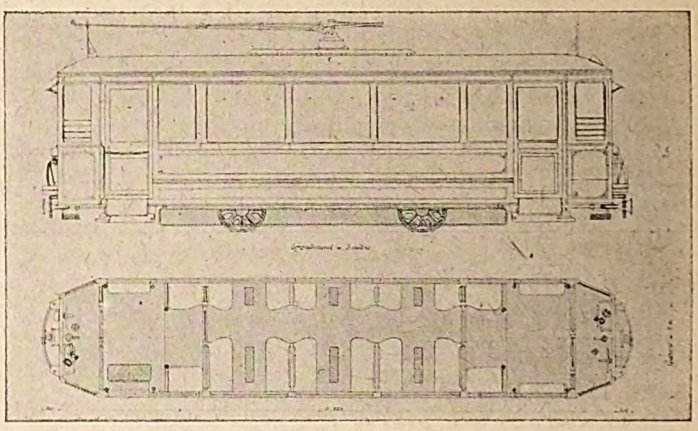


Fig. 11. — Motrice de la S. C. E. M. I. A. Ensemble.

Les résultats ci-après relatifs à un parcours total voisin de quarante millions de kilomètres, présentent une valeur indiscutable.

Consommation d'énergie.

Des relevés comparatifs précis de consommation d'énergie ont montré que la motrice type L permet de réaliser, par rapport à la motrice G à truck et essieux parallèles, qui en constituait le prédécesseur immédiat, une économie totale de 15,7 pour cent à vide et 13 pour cent en charge.

Dépenses d'entretien.

a) *Moteurs.* — Une cause fréquente d'avaries des moteurs de traction réside dans la désagrégation des isolants, sous l'influence des chocs dus aux défectuosités de la voie. La disposition des moteurs entièrement suspendus élastiquement, prévient cette détérioration. C'est ainsi que le nombre des avaries des moteurs TH. 563 sur ce ma-

Digitized by Google

tériel est de 0,8 aux 1 000 000 km exploitation contre 6,1 pour les moteurs TH. 523 et GE. 216 moteurs tout à fait modernes qui en sont les prédécesseurs immédiats sur les motrices G.

En outre, pour opérer le changement d'un moteur, il suffit de démonter les quatre boulons de fixation et de déconnecter l'accouplement élastique. Cette opération peut être effectuée par le personnel d'entretien des dépôts en une demi-journée avec deux ouvriers. L'immobilisation de la voiture est donc réduite au minimum.

b) *Bandages.* — A l'inverse des motrices à empattement rigide dont la masse totale agit sur le rail dès le début de l'inscription en courbe, la motrice L, grâce à la liaison élastique qui facilite le déplacement transversal des essieux par rapport à l'ensemble de la voiture, réalise une progressivité sensible dans l'attaque des courbes. Cette attaque s'effectue sous la forme d'efforts limités et décalés dans le temps. Il en résulte une augmentation du confort pour les voyageurs et une usure notablement moindre de la voie et des bandages.

En ce qui concerne les bandages, on a constaté une augmentation du kilométrage effectué entre deux reprofilages de 20 à 30 pour cent, par rapport aux voitures ne comportant pas de liaison transversale élastique, entre la caisse et les essieux.

Les constatations précises relatives à la voie demandent une période d'observation extrêmement étendue, qui n'a pas encore été réalisée, mais il va de soi que si l'usure des boudins est diminuée, l'usure de la voie est également diminuée.

Le reprofilage des bandages des voitures à truck nécessite le levage de la caisse et du truck, et le démontage des moteurs.

Ces opérations demandent un outillage spécial et entraînent une immobilisation de la voiture de 3 à 4 jours.

Les ponts peuvent être libérés simplement en déconnectant les moteurs et les bielles de poussée, et en levant une extrémité seulement de la voiture à l'aide de deux crics.

De plus, pour reprofiler les bandages, il n'est pas nécessaire de démonter le carter, le pont tout entier pouvant être monté sur le tour.

c) *Graissage.* — Dans les motrices à moteurs fixés sur les essieux, les organes à graisser sont nombreux et dispersés : boîtes à huile, plaques de garde, paliers de moteurs sur essieux, paliers d'induits, engrenages et, de ce fait, les opérations de graissage sont longues et nécessitent plusieurs sortes de lubrifiants.

Digitized by Google

Dans la motrice L, la réunion sous un même carter des différents organes à graisser amène une diminution de 55 pour cent du temps nécessaire au graissage d'une motrice à moteurs sur essieux, et à une réduction de 18 pour cent sur la consommation de lubréfiant.

C. — Suspension.

Le problème de la suspension, en raison de son importance, a fait l'objet d'un nombre considérable de réalisations et l'on peut dire que,

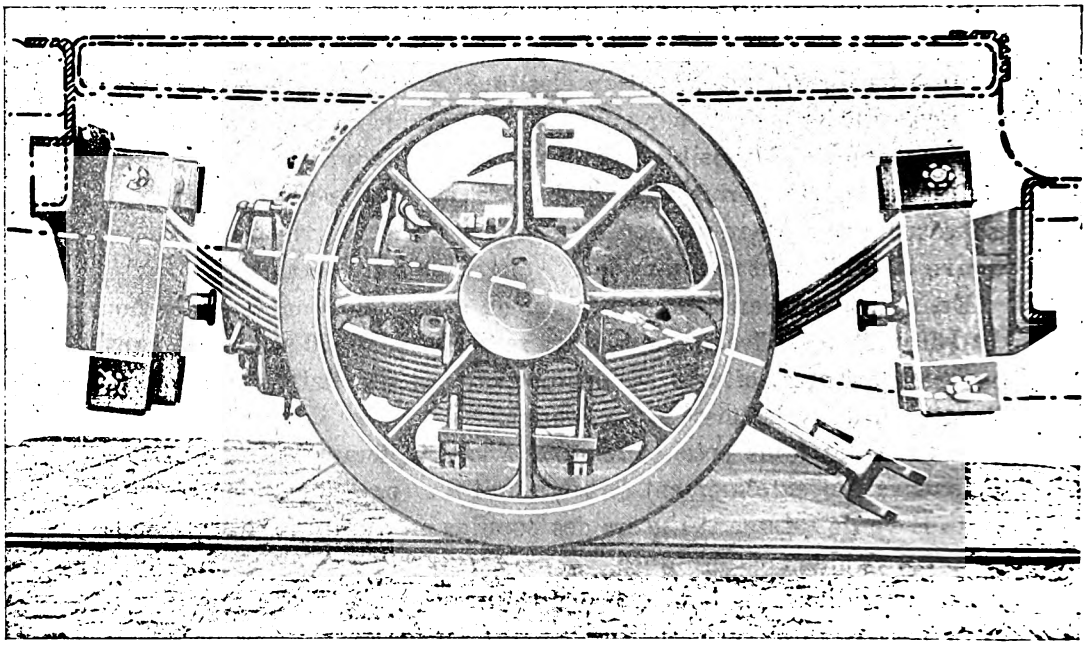


Fig. 12. — Motrice L de la S. T. C. R. P. Suspension. (Cliché E. et M.)

de longue date, toutes les combinaisons possibles de ressorts à lames, ressorts en hélice, ressorts en spirale, ont été envisagées.

Les ressorts à lames, seuls, sont susceptibles de présenter une puissance de travail suffisante et d'amortir les oscillations. Mais, en raison de leur grande inertie, il est nécessaire de combiner leur emploi avec celui de ressorts en hélice de grande flexibilité et de faible inertie, absorbant les chocs de plus faible importance. Cette disposition se retrouve, pour ne citer que quelques exemples, dans les systèmes Brill les plus récents, dans le bissel Delmez, la motrice Rayner de Hull, la motrice L de Paris.

Une autre tendance caractéristique de l'évolution de la suspension,

Digitized by Google

réside dans l'emploi de suspensions pendulaires permettant un certain déplacement latéral de la caisse, adoucissant considérablement les entrées en courbes en évitant la transmission des chocs à la caisse.

Ces suspensions pendulaires revêtent, suivant les cas d'espèces, diverses formes. La plus classique est la traverse danseuse de truck.

Je signalerai également le dispositif particulièrement original de la S.T.C.R.P. dans lequel on est parvenu, par l'utilisation d'organes mécaniques d'une grande simplicité, à réaliser un système présentant tous les avantages des suspensions pendulaires les plus perfectionnées.

Cette suspension comporte de longs ressorts à lames (fig. 12), disposés en série avec des ressorts en hélice montés eux-mêmes dans des jumelles élastiques. Ces jumelles sont constituées par des lames flexibles dont la partie inférieure est encastrée dans une pièce métallique traversée par l'axe d'oscillation. La partie supérieure, au contraire, reçoit l'axe d'assemblage de l'extrémité du ressort à lames.

Ainsi constituées, les jumelles permettent des déplacements transversaux de la caisse par rapport à l'essieu. Ces déplacements engendrent des forces de rappel proportionnelles à l'amplitude du mouvement et qui tendent à ramener la caisse dans sa position initiale.

La déformation des jumelles est limitée par des butées placées à 20 mm de part et d'autre de la position verticale.

La force de rappel qui correspond à la déformation maximum des jumelles est, pour la voiture actuelle, d'environ 3 tonnes.

Cette suspension latérale est exempte de frottement et, malgré l'importance des forces de rappel, un homme seul peut aisément faire osciller la caisse de la voiture.

D. — Essieux.

L'évolution dans la construction des essieux a particulièrement porté, au cours de ces dernières années, sur l'utilisation d'aciers spéciaux, malgré leur prix élevé.

Dans un premier stade, les aciers à 2 pour cent de nickel donnant après traitement une résistance à la rupture de 52 kg pour une limite élastique de 37 kg et un allongement de 25 pour cent, ont permis d'obtenir, par rapport aux aciers Martin précédemment utilisés, une notable réduction du poids.

Plus récemment, les aciers à faible teneur en chrome nickel (Nickel = 2,5 pour cent, chrome = 0.8 pour cent donnant, après

Digitized by Google

traitement, une résistance à la rupture de 80 kg pour une limite élastique de 65 kg et un allongement de 12 pour cent, ont permis d'obtenir une nouvelle réduction du poids.

E. — Roues et Bandages.

L'utilisation de centres de roues en acier moulé se généralise.

En ce qui concerne les bandages, il convient d'étudier la qualité du métal et la forme, éléments influant tous deux de façons différentes, mais dans une mesure également importante, sur l'usure des bandages et de la voie.

L'augmentation croissante des frais de pose des voies, a conduit les exploitants à envisager les mesures propres à augmenter, dans la plus large mesure possible, l'intervalle des renouvellements de rails. Le même problème s'est posé pour les bandages, dont on cherche à prolonger de plus en plus le kilométrage avant retournement et réforme.

Ces considérations ont conduit, au cours de ces dernières années, à adopter, pour le rail et pour les bandages, des aciers de plus en plus durs.

Je n'insisterai pas sur cette question que j'ai traitée dans le rapport dont j'ai déjà parlé et préparé pour le Congrès International des Tramways de 1914, et dans un rapport que j'ai fait au Congrès des Tramways Français de 1925 (1).

J'indiquerai simplement que l'emploi des bandages à 90 kg tend à se généraliser, et il est possible que dans cette évolution, le terme final ne soit pas encore atteint.

En ce qui concerne la forme des bandages, pendant de longues années, on s'est cru obligé d'utiliser des bandages coniques par analogie avec ce qui se fait sur les chemins de fer, mais, à la suite de nombreuses expérimentations poursuivies par diverses exploitations et signalées dans mon rapport de 1914, il a été prouvé que :

1° les avantages de la conicité, au point de vue du passage dans les courbes à faibles rayons, sont illusoires ;

2° la conicité des bandages est la cause des mouvements de lacets des voitures qui provoquent des efforts latéraux importants, tendant à écarter les rails ;

3° les mentonnets des bandages coniques s'usent plus rapidement, toutes choses égales d'ailleurs, que ceux des bandages cylindriques ;

---

(1) Voir *Industrie des Tramways*, décembre 1925.

Digitized by Google

4° lorsque, par suite d'une usure anormale, les bandages des deux roues d'un même essieu prennent des conicités différentes, l'on constate une usure anormale caractéristique du mentonnet de la roue dont la conicité est la plus grande ;

5° par suite des glissements qu'elle engendre, la conicité est une des causes de production de l'usure ondulatoire des rails.

En définitive, ayant préconisé depuis 1908 les bandages cylindriques, j'ai plaisir à constater que les exploitants de tramways renoncent progressivement à l'emploi des bandages coniques pour utiliser des bandages cylindriques.

Dans cette voie, l'évolution n'a toutefois pas été aussi rapide qu'il aurait été désirable, certains exploitants persistant à employer des bandages coniques par esprit de routine.

La tendance en cette matière est toutefois très nette sur les tramways, mais je ne l'ai pas constatée sur les chemins de fer ; on peut se demander pourquoi, après avoir notamment pris connaissance des études de M. Pochet (mouvements en courbes sur les chemins de fer), de M. Nadal (même objet), de M. Marié (note complémentaire sur les oscillations de matériel de chemins de fer).

F. — Roulements a billes et a rouleaux.

Au cours de ces dernières années, on a multiplié les essais d'application de roulements à billes et à rouleaux sur les boîtes d'essieux et les moteurs de tramways.

On conçoit que les avantages escomptables *à priori* de l'utilisation des boîtes d'essieux à roulements, réduction du coefficient de traction, économies de lubrifiant, aient séduit les Ingénieurs.

En réalité, notre expérience, issue de nombreux essais précis, nous permet d'indiquer que l'économie maximum à atteindre est de l'ordre de 2 à 3 pour cent. Mais cette économie n'est constatée que lorsque les roulements sont neufs. Elle diminue ou disparaît avec les roulements ayant un kilométrage de l'ordre de 80 000 à 90 000 kilomètres.

La vieille querelle des roulements à rouleaux et à billes poursuit son cours. Il semble que, dans ces dernières années, les rouleaux aient l'avantage. Personnellement, je pense que, si ces dispositifs se développent, ce sont les roulements à rouleaux qui triompheront.

Digitized by Google

G. — Chassis proprement dit.

La tendance actuelle, que j'ai déjà signalée à propos de la construction des bogies et qui ne peut, à mon avis, que s'accentuer, consiste à employer de l'acier embouti, particulièrement pour les longerons, dont la forme est souvent tourmentée.

La réduction de poids à laquelle conduit l'emploi de l'embouti entraîne, nous l'avons déjà dit, une économie notable d'énergie de traction et d'entretien des voies.

La standardisation des éléments du châssis faciliterait la généralisation de l'emploi de l'acier embouti, en en réduisant le prix de revient. Ce dernier est, en effet, élevé, en raison de la construction des nombreuses matrices nécessaires à sa fabrication. « L'Union des Voies Ferrées d'Intérêt Local de France » est entrée dans cette voie, en standardisant quelques types de voitures.

On a parfois exprimé quelques craintes au sujet des réparations à effectuer aux châssis en emboutis, détériorés à la suite d'accidents ayant provoqué la déformation des longerons. Il n'apparaît pas que la présence d'emboutis soit de nature à augmenter l'importance ou la difficulté de telles réparations. Comme l'indiquait M. Dubath au Congrès International des Tramways de 1924, la soudure autogène et la soudure électrique facilitent beaucoup la remise en état des emboutis détériorés et les frais correspondants doivent être inférieurs à ceux de la réparation d'un châssis en tôle et cornières assemblées, dont les rivets seraient disloqués par suite de la déformation.

II. — Freins mécaniques.

Sur tous les tramways, on rencontre actuellement le freinage mécanique actionné pneumatiquement ou à la main et le freinage électrique.

Dans la généralité des cas, le freinage mécanique est obtenu par serrage de sabots en fonte sur les bandages des roues.

Ce système de freinage présente cependant un certain nombre d'inconvénients :

— usure importante du bandage et des sabots, nécessitant de fréquents réglages des timoneries ;

— modification de la forme des bandages ;

— nécessité, en raison de la faible vitesse relative des pièces en con-

Digitized by Google

tact, d'exercer des efforts importants, conduisant à une timonerie lourde et encombrante ;

— coefficient de frottement variable avec l'état de la voie ou les circonstances atmosphériques.

Dans cette question du freinage, c'est encore la technique automobile qui a contribué à la réalisation des plus gros progrès.

En premier lieu, les inconvénients des freins à sabots sur roues ont été supprimés par le freinage au moyen d'une bande agissant sur un tambour calé sur l'essieu.

L'adoption de la transmission genre automobile a tout naturellement conduit à réaliser le frein sur transmission, dont l'efficacité est bien connue. Le freinage sur tambour entraîné à la vitesse du moteur constitue une innovation qui a reçu ses premières applications pratiques de quelque envergure sur la motrice L de Paris.

Dans cette voiture, des mâchoires de frein (fig. 13) disposées verticalement de chaque côté du tambour, tourillonnent par leur partie inférieure sur un axe porté par le carter inférieur du pont, et permettent, au moyen d'une timonerie appropriée, d'appliquer sur le tambour des sabots sur lesquels sont fixées les garnitures de frein.

Pour que l'usure des garnitures s'effectue parallèlement à elles-mêmes malgré le pivotement des mâchoires, les sabots sont disposés de façon à pouvoir pivoter sur ces dernières par l'intermédiaire d'axes.

Un système de bielles, attaquant, d'une part, l'axe supérieur des mâchoires et, d'autre part, reliées à un balancier prenant appui sur le carter supérieur, égalise au desserrage les jeux des garnitures de frein de chaque côté du tambour.

Un simple calcul montre que, pour une même efficacité de freinage de cette motrice, la pression à exercer sur les sabots de frein est trois fois plus faible que celle qu'il faudrait exercer, si les sabots de frein étaient appliqués directement sur les bandages des roues.

L'efficacité supérieure de ce freinage sur transmission par rapport au freinage sur roues, a été mise en évidence de manière irréfutable par la statistique des accidents sur la voie publique.

De cette statistique ressort en effet que, sur les mêmes lignes, et rigoureusement dans les mêmes conditions de trafic, le nombre des accidents est pour la motrice L inférieur de 29 pour cent au nombre correspondant pour la motrice G, qui constituait avant l'apparition de la motrice L le type le plus perfectionné.

En particulier, la motrice L satisfait très largement à la règle dite

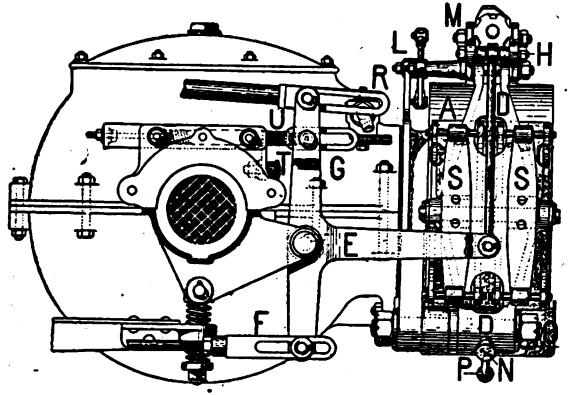
Digitized by Google

MOTRICE TYPE L, SÉRIE

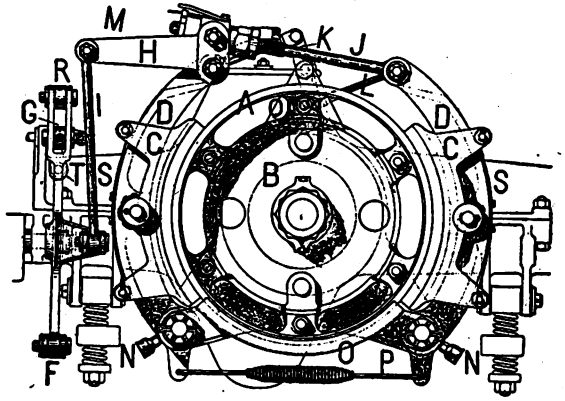
(NOUVEAU MATÉRIEL 1924)

FREIN A MACHOIRES EXTÉRIEURES

AVEC TAMBOUR DE 450 × 215



Vue longitudinale



Vue en bout

LÉGENDE

	DÉSIGNATION	NOMBRE PAR MOTRICE
A	Tambours de freins	2
B	Plateaux d'entraînement	2
C	Sabots de freins	4
D	Mâchoires de freins	4
E	Leviers à trois branches	2
F	Bielles inférieures de commande de levier à trois branches (commande à main)	2
G	Bielles supérieures de commande de levier à trois branches (commande à main)	2
H	Flasques formant demi-leviers de commande des freins	4
I	Bielles de commande de leviers des freins	2
J	Bielles de serrage	2
K	Leviers égalisant le desserrage des mâchoires du frein	2
L	Tringle du levier égalisant le desserrage des mâchoires du frein	4
M	Dispositifs de réglages	2
N	Graisseurs Lefevre n° 3	4
O	Capots de protection des tambours de freins	2
P	Ressorts de rappel des mâchoires de freins	4
Q	Supports de l'équilibreur de desserrage	2
R	Bielles de commande du levier à trois branches (commande à air comprimé)	2
S	Ressorts d'application des sabots sur mâchoires des freins	4
T	Butées du levier à trois branches	2
U	Ressort de rappel du levier à trois branches	1

Nota. — Ce frein est commandé à main en F et en G et est commandé à air comprimé en R.

Fig. 13. — Motrice type L. Freinage.

Digitized by Google

des trois vingt d'après laquelle une voiture lancée à 20 km dans une déclivité de 20 mm par mètre, doit pouvoir s'arrêter en moins de 20 m.

Sa distance moyenne d'arrêt, dans ces conditions, est de 12 m contre 18 m pour la motrice G.

Tous les organes de frein, réservoirs, cylindres de frein, timoneries, ont pu être réduits dans de notables proportions et, finalement, le poids total d'un équipement de frein, qui varie entre 1 200 et 1 500 kg pour une motrice ordinaire, n'est que de 400 kg pour la motrice L.

Le réglage des freins s'effectue d'une façon aussi simple que rapide, et l'économie de main-d'œuvre correspondante est de l'ordre de 50 pour cent. La réduction de la pression sur les garnitures de frein entraîne la réduction de l'usure de ces dernières dont la durée est quatre fois supérieure à celle des sabots de frein.

On rencontre des systèmes analogues de freinage sur les motrices légères européennes modernes, motrice de Berlin, Albrecht Krupp de Dortmund, Rayner de Hull.

CHAPITRE II

Caisse.

Un des progrès les plus caractéristiques en ce qui concerne la construction de la caisse, consiste dans la simplification et l'amélioration de l'harmonie des lignes de la voiture.

Le progrès, dans ce sens, apparaît d'une façon nette si l'on compare les quelques motrices d'un type ancien encore en circulation sur le réseau parisien, aux voitures types B et G de la C.G.O. et à la motrice type L.

Dans cette voie, une amélioration importante a été obtenue par la suppression du lanterneau qui permet une simplification de la charpente de caisse, tout en obtenant une solidité plus grande avec un poids plus léger et un prix de revient moins élevé.

Elle conduit, toutefois, à l'adoption de nouveaux dispositifs de ventilation dont l'établissement ne présente d'ailleurs aucune difficulté.

Caisses en bois et caisses métalliques.

Il existe deux principes de construction des caisses :

— la construction entièrement métallique ;

— la construction entièrement en bois.

Digitized by Google

Cette dernière, appliquée dès l'origine des tramways, est encore de règle pour un très grand nombre de véhicules.

La construction entièrement métallique est presque unanimement employée en Amérique pour les voitures légères à un seul agent, combinée avec l'application de principes nouveaux de répartition des efforts entre la charpente et les longerons.

Les toitures elles-mêmes sont parfois métalliques à sections trilobées, et présentent les mêmes avantages que les toits en bois sans lanterneaux.

La caisse entière joue, dans ce cas, le rôle d'une poutre tubulaire, travaille par son ensemble et peut être construite très légèrement.

La conception de la caisse métallique dont tous les éléments concourent à la solidité de l'ensemble, ne tient pas compte des accidents par collisions dont le nombre et l'importance, dans les agglomérations urbaines, croissent rapidement avec la circulation.

L'avarie d'un élément a généralement sa répercussion sur l'ensemble de la caisse, et les réparations des caisses métalliques sont beaucoup plus onéreuses que celles des caisses en bois limitées ordinairement au remplacement de panneaux enfoncés ou de pieds montants brisés.

C'est pour cette raison que, à mon avis, la meilleure méthode consiste à n'utiliser la caisse métallique que pour des services partiellement ou totalement extra-urbains, ne présentant que peu ou point de risques de collision et à réserver la construction en bois pour toutes les voitures ayant à circuler dans des agglomérations urbaines.

Dispositions générales de la caisse.

Impériale. — Certains réseaux, notamment en Angleterre, continuent à utiliser des voitures à impériale. Ce type de véhicules tend cependant à disparaître.

L'impériale permet évidemment un accroissement considérable de la capacité pour une faible augmentation du poids mort, mais l'accès n'en est jamais aisé et est par cela même, interdit à certaines catégories de personnes.

La montée et la descente des voyageurs s'effectuent lentement, ce qui réduit d'autant la vitesse commerciale de la voiture.

Nous venons de procéder récemment à la substitution de tramways sans impériale, aux tramways à impériale sur les deux lignes :

87 « Malakoff — Les Halles » ;

et 89 « Clamart — Hôtel-de-Ville ».

Digitized by Google

La vitesse commerciale a pu être accrue pour la ligne n° 87 de 11,40 pour cent, et pour la ligne n° 89 de 9,60 pour cent.

D'autre part, alors qu'on a parfois entendu quelques personnes réclamer l'impériale, les statistiques montrent qu'au contraire, sur les deux lignes en question, la substitution a entraîné un accroissement du nombre de voyageurs de :

12,5 pour cent sur la première ;

et de 19 pour cent sur la seconde.

Enfin, en ce qui concerne l'accroissement de la vitesse commerciale que permettent les voitures sans impériale sur des lignes d'omnibus automobiles, la substitution a permis les augmentations de vitesses suivantes :

— ligne AL « Porte d'Asnières — Gare Montparnasse », 23,5 pour cent ;

— ligne C « Porte de Neuilly — Hôtel-de-Ville » ; ligne H « Avenue de Clichy — Gobelins » un peu plus de 19 pour cent.

Ces chiffres résultent des comparaisons entre les services des voitures à impériale de 1913 et les services des voitures actuelles, malgré l'accroissement considérable des difficultés de circulation.

Tout au plus, pourrait-on admettre l'impériale sur des lignes à faible vitesse commerciale ralentie par une circulation très intense. C'est la tendance constatée actuellement en Amérique, et peut-être reverrons-nous un jour les omnibus à impériale sur « Madeleine-Bastille ».

Accès. — En ce qui concerne les accès du véhicule, deux dispositifs principaux sont en usage : l'entrée et la sortie par une plateforme centrale décrochée.

L'entrée et la sortie par deux plateformes à chaque extrémité du véhicule.

Les voitures à plateforme centrale présentent l'avantage d'un accès facile, par une seule marche au moyen d'une large baie. Elles facilitent la tâche de l'agent qui peut surveiller aisément la montée et la descente des voyageurs.

Avec le dispositif à plateforme extrêmes, la surveillance des deux portes est difficile à assurer de façon efficace, sauf dans les voitures à un seul agent où il est complété par la commande pneumatique des portes.

Aucun des dispositifs examinés ne paraît franchement prendre l'ascendant sur l'autre. La plateforme centrale se rencontre assez fré-

Digitized by Google

quemment en Europe, tandis que les entrées extrêmes séparées sont en faveur aux Etat-Unis.

Disposition des banquettes. — On trouve dans le matériel récent, selon les cas d'espèces, les banquettes longitudinales ou transversales avec ou sans dossiers reversibles. En tout état de cause, les véhicules où l'on se préoccupe particulièrement du confort du voyageur, comportent à peu près tous la disposition transversale.

Voitures à un seul agent.

Je dirai quelques mots des voitures à un seul agent qui, lancées en Amérique il y a quelques années seulement, ont connu rapidement une grande popularité et font, plus près de nous, l'objet d'essais suivis à Londres, Berlin, Bâle, en Suède à Malmoë et en Hollande à Arnheim.

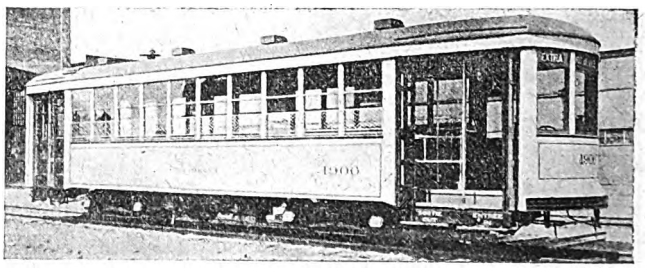


Fig. 14. — Motrice à un seul agent, de Montréal.

Dans ce dernier réseau, toutes les motrices ont été récemment transformées en véhicules à un seul agent. Il existe, à l'heure actuelle, en Amérique, répartis dans 488 Compagnies différentes, plus de 80 000 omnibus automobiles et 20 000 tramways à un seul agent, avec disposition soit « Payez en entrant », soit « Payez en sortant ».

Sur un assez grand nombre de ces réseaux, un deuxième agent est utilisé exclusivement aux heures de charge pour activer la perception des places.

Ces voitures de tramways à un seul agent se caractérisent par les particularités de construction du châssis, poussée en vue d'obtenir l'allégement maximum, par la disposition de leur carrosserie, notamment en ce qui concerne la montée et la descente des voyageurs, qui s'effectuent généralement par deux portes différentes, par les dispositifs de perception des places et enfin par les dispositifs de sécurité adoptés en vue de prévenir les conséquences éventuelles d'une indisposition du machiniste.

Digitized by Google

Dans les types anciens, les portes sont placées aux deux extrémités du véhicule et commandées par le machiniste, soit pneumatiquement, soit électriquement.

Dans les types plus récents, les deux portes, nettement spécialisées, l'une pour la montée, l'autre pour la descente, sont à l'avant du véhicule, séparées par une main-courante, et placées sous la surveillance directe du machiniste (fig. 14).

Ces portes sont maintenues fermées pendant la marche.

L'adoption de planchers surbaissés et un aménagement intérieur conçu en vue du dégagement des portes, facilitent le mouvement des voyageurs.

Le système le plus généralement adopté est celui qui comporte le paiement à la montée.

D'ingénieux appareils automatiques assurent, sous le contrôle du machiniste, la distribution de tickets à tarifs variables et effectuent le change de la monnaie métallique dans les cas les plus complexes.

Dans certains appareils, le perfectionnement atteint est tel que le change de la monnaie de papier est également assuré, mais cette fois avec une légère intervention du machiniste.

Ces appareils enregistrent en outre le nombre des tickets délivrés, totalisent les sommes perçues et effectuent le tri de la monnaie introduite par les voyageurs, facilitant ainsi les opérations comptables en fin de journée et préparant la mise en place dans les distributeurs de la monnaie pour la journée du lendemain.

L'équipement électrique est conçu de manière à réaliser toutes les commandes d'ouverture, de fermeture et de verrouillage des portes.

La voiture est immédiatement freinée en cas de défaillance du machiniste. A cet effet, le dispositif le plus généralement employé, appelé dispositif « d'homme mort », comporte un poussoir placé sur la manette de commande du régulateur de vitesse et normalement comprimé par la main du machiniste. En cas de défaillance de ce dernier, le poussoir, libéré, entraîne la rupture d'un circuit électrique de sécurité, qui provoque le fonctionnement des freins et des sablières ainsi que la commande d'ouverture des portes.

Résultats d'exploitation.

Bien que la capacité ait été portée en certains cas jusqu'à 70 places, la tendance actuelle est de limiter cette dernière aux environs de 50 places et d'organiser les véhicules de manière à pouvoir fonctionner aux heures d'affluence en unités mutiples (fig. 15).

Digitized by Google

Le prix d'établissement relativement moins élevé de ces véhicules, la réduction de la consommation d'énergie et des dépenses d'entretien de la voie due à l'allégement et la réduction des dépenses de personnel ont permis, sans accroissement de tarifs, de multiplier le nombre des véhicules et d'accroître notablement la recette totale.

Les résultats suivants, publiés par l'*Electric Railway Journal* du 14 janvier 1922, et relatifs aux variations de la recette en fonction de la fréquence sur une ligne exploitée par véhicule à un seul agent, sont à ce sujet tout à fait significatifs.

Pour une fréquence de 8 minutes, chaque voiture rapportait 21 dollars par jour.

En moins d'un an, la fréquence est passée successivement :

à 4 minutes	avec rendement de	29 dollars par jour
à 3 —	—	35 dollars par jour
à 2 — 1/2	—	40 dollars par jour.

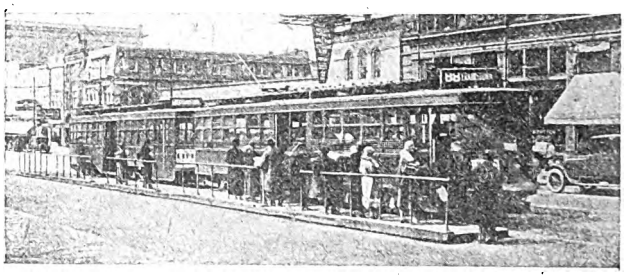


Fig. 15. — Train de 2 motrices à un seul agent, de Pittsbourg.

La ligne en question traversait un district très peuplé.

La pratique américaine a, en effet, fait justice de l'affirmation trop souvent entendue que le véhicule à un seul agent n'est utilisable que sur des réseaux à trafic réduit.

C'est ainsi que le réseau de Brooklyn utilisait, dès 1921, 206 véhicules à un seul agent sur 35 lignes différentes, dont certains desservaient la Fulton Street, l'une des artères les plus congestionnées qui soient au monde.

Parmi les villes les plus peuplées faisant un large emploi des véhicules à un seul agent, je citerai :

Chicago	2 500 000	habitants
Boston	725 000	—
Brooklyn	1 928 000	—
Philadelphie	1 709 000	—

Digitized by Google

Il en est de même pour les vitesses commerciales réalisables avec ces véhicules, dont les valeurs, contrairement à l'opinion couramment admise, ont été accrues, ainsi que le signalent la plupart des réseaux américains (1), par l'emploi d'accélérations élevées au démarrage et d'organes de freinage de grande efficacité.

Par ailleurs, l'efficacité du freinage a contribué notablement à la réduction des accidents sur la voie publique et, en particulier grâce à la surveillance directe du machiniste sur les portes d'entrée et de sortie, et à la fermeture de ces dernières pendant la marche, le nombre des accidents à la montée a été pratiquement réduit à zéro.

L'*Electric Railway Journal*, dans un récent numéro (25 septembre 1926), reproduit une série d'études sur les heureux effets de l'introduction du matériel moderne à un seul agent, sur les bilans d'exploitation d'une série de réseaux américains.

Dès 1921, l'Américain Gove (2), dans un magistral exposé, signalait « que la situation financière d'un nombre important de réseaux, qui se trouvait auparavant compromise, a été entièrement rétablie et rendue satisfaisante à tous égards depuis l'emploi en masse du matériel nouveau léger à un seul agent.

Dans le même ordre d'idées, la Commission spéciale de l'American Electric Railway Association (3), indiquait que les économies réalisées par ces véhicules permettaient leur amortissement en 14 mois.

A noter, toutefois, comme l'indique M. Greeland, dans sa communication à la Central Electric Railway Association (4) que les économies importantes réalisées, ont trait à l'emploi de véhicules neufs et bien adaptés aux nouvelles conditions d'exploitations.

Partout où l'on a employé des voitures transformées au lieu de voitures neuves, le bénéfice a été limité à la réduction des dépenses de personnel, point déjà intéressant.

Les considérations que je viens de vous exposer ont incité la S.T.C.R.P. à mettre en service à Paris quelques omnibus automobiles à un seul agent conduisant la voiture et percevant la recette et, après constatation des résultats obtenus, à étudier et discuter avec les Administrations intéressées, la réalisation d'un tramway à un seul agent.

La S.T.C.R.P. a sollicité et attend les autorisations nécessaires à la

---

(1) C. R. de M. Walter Jackson. — E. R. J. du 29 mai 1920.
(2) E. R. J., juin 1921.
(3) C. R. *Industrie des Tramways*, n° 165. — Septembre 1920.
(4) C. R. *Industrie des Tramways*, n° 151. — Juillet 1919.

Digitized by Google

mise en service d'un tramway d'essai, obtenu par la transformation d'une voiture existante.

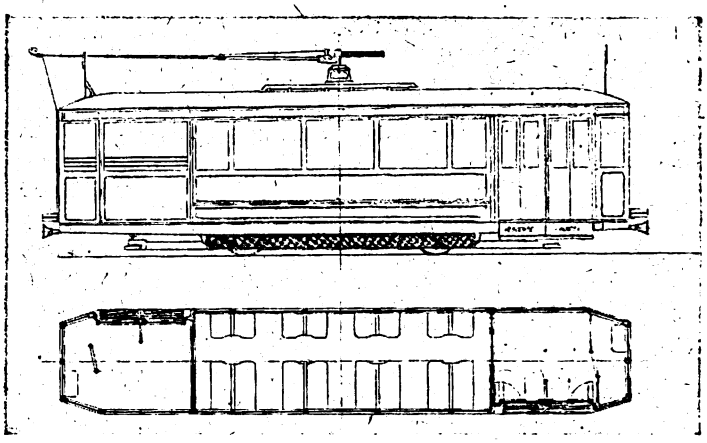


Fig. 16. — Motrice à un seul agent de la S. T. C. R. P. Ensemble.

En outre, nous n'avons pas hésité à entreprendre l'étude d'un véhi-

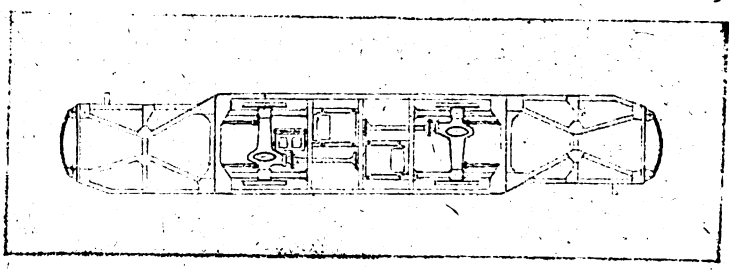


Fig. 17. — Motrice à un seul agent de la S. T. C. R. P. Transmission.

cule nouveau d'un poids très réduit, et dont le type découle des modèles récents dont je vous ai entretenus (fig. 16 et 17).

CHAPITRE III

Equipement électrique.

A. — Généralités.

En ce qui concerne les équipements électriques des tramways, l'évolution de la construction a également marqué une étape importante, bien que la nature du courant utilisé, la tension d'alimentation et le schéma général des circuits de traction, aient peu varié.

Digitized by Google

Nature du courant.

L'emploi du courant continu s'est généralisé depuis 1915, pour tous les problèmes de traction, y compris celui des chemins de fer d'intérêt général.

Bien que, depuis quelques mois, se dessine à nouveau en Amérique un mouvement en faveur de la traction par courants alternatifs pour les chemins de fer d'intérêt général — et d'ailleurs exclusivement dans ce cas — les résultats satisfaisants obtenus par la traction à courant continu à tension élevée, ne doivent pas être oubliés en faveur de résultats encore mal connus.

Toutefois, et sortant un peu de mon sujet, je me permettrai d'émettre un avis sur les réseaux de traction réalisés avec courant continu à tension élevée : j'ai la conviction que, même pour de grands réseaux de chemins de fer, la tension de 600 ou, mieux de 750 V, dont les équipements sont très peu coûteux, doit conduire, avec les sous-stations automates, également peu coûteuses et ne nécessitant aucun personnel, et avec le troisième rail, aux dépenses de premier établissement et d'entretien les plus faibles.

Pour la traction des tramways, le courant continu est imposé par la nécessité de réaliser un matériel roulant léger et d'encombrement réduit, ainsi que par les conditions d'exploitation particulières à ce mode de traction : démarrages fréquents, taux d'accélération élevé, profils et encombrement des chaussées extrêmement variés.

Ces conditions ne sauraient être réalisées simultanément que par l'emploi du moteur continu série.

Tension d'alimentation.

D'une manière très générale, la tension d'alimentation ne dépasse pas 750 volts, dans le cas des réseaux de tramways urbains et suburbains.

Les raisons de cette limitation de la tension à une valeur relativement basse, malgré les dispositions favorables des règlements d'administration qui laissent en pratique toute latitude aux exploitants jusqu'à la tension de 1 500 V, procèdent de trois sortes de considérations : d'une part, les difficultés d'établissement des installations fixes à tension élevée, d'autre part, les commodités de réalisation et les garanties de fonctionnement du matériel roulant et enfin le prix de revient qui croît rapidement avec la tension.

Digitized by Google

En ce qui concerne les installations fixes, outre les difficultés d'isolement pour une tension de 1 500 V d'un fil de travail placé sur la voie publique, l'utilisation dans les sous-stations de commutatrices à 1 500 V pour la fréquence unifiée de 50 p/s, constitue encore et à juste titre, une sujétion grave.

L'emploi de commutatrices à 750 V groupées par deux en série, multiplie le nombre des unités et, par suite, les dépenses de premier établissement.

En ce qui concerne le matériel roulant, les inconvénients de la tension de 1 500 V ne sont pas moindres.

Par rapport au moteur de même puissance établi pour fonctionner sous 600 à 750 V, le moteur à 1 500 V présente un poids supérieur de 10 à 15 pour cent en raison du dimensionnement plus large des isolants et des difficultés d'établissement des collecteurs. Son prix d'achat est par suite notablement supérieur.

La tendance actuelle étant au moteur extra-léger et par suite à vitesse de rotation élevée (1 000 t/mn et plus pour le service unihoraire), la nécessité d'assurer une bonne commutation sans flashs limite la tension nettement au-dessous de 1 000 V.

Enfin, tandis que dans la construction du matériel pour chemins de fer, l'appareillage de contrôle des différents circuits peut être groupé dans des cabines d'accès interdit aux voyageurs, il en est difficilement de même pour le matériel de tramway, et il y a tout intérêt, à ce point de vue à ne point adopter une tension trop élevée afin de ne pas accroître les dangers de contact.

Schéma général des circuits de traction.

Le schéma général des circuits de traction a peu varié. Il est toujours basé sur le groupement série parallèle d'un nombre pair de moteurs, ordinairement deux et parfois quatre dans le cas de motrices relativement puissantes, dont la longueur de caisse a paru nécessiter l'utilisation de bogies pour l'inscription en courbes de faible rayon.

Certes, ce moteur présente quelques inconvénients, dont le principal est de ne point permettre la récupération sans complication d'équipement prohibitive pour un matériel de tramway.

Aussi n'est-il pas étonnant de voir périodiquement une tentative — vite abandonnée d'ailleurs — d'emploi de moteur à caractéristique shunt.

Ce dernier, susceptible d'intérêt, ainsi que l'ont montré MM. H. PA-

Digitized by Google

RODI et R. T. SMITH (1), dans le cas de trains rapides sur lignes longues et présentant peu d'arrêts, est incompatible avec les exigences de la traction des tramways, en raison de :

— son poids élevé ;

— sa tenue défectueuse aux variations de la tension si fréquentes sur les réseaux de tramways ;

— la difficulté d'assurer une répartition équitable de la charge suivant les différents moteurs d'une même voiture.

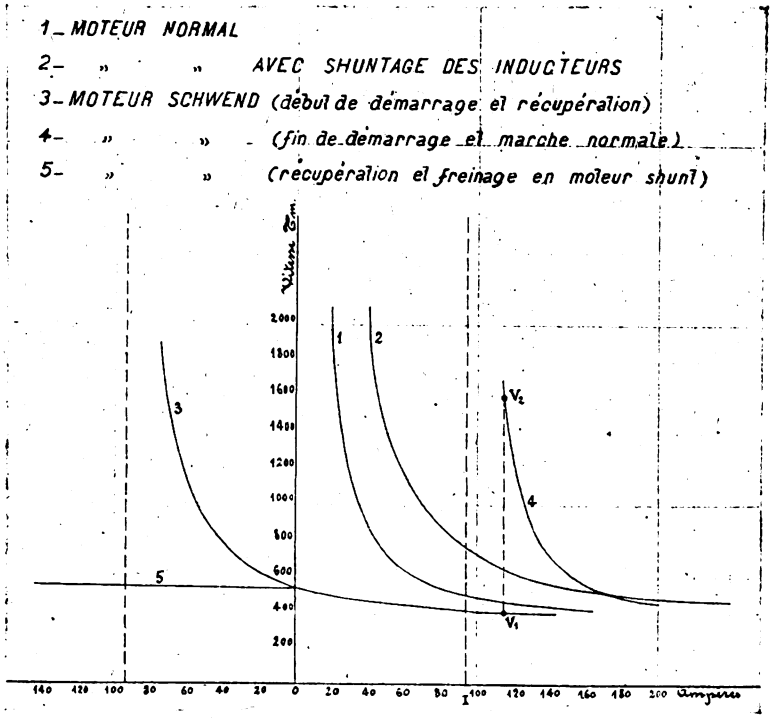


Fig. 18. — Moteur Schwend. Caractéristiques de fonctionnement (d'après Verkehrstechnik du 21-6-25).

Pour terminer avec cette question, citons une récente tentative d'amélioration du moteur série.

M. SCHWEND, Ingénieur aux tramways de Nuremberg, s'est proposé de réaliser un démarrage à intensité sensiblement constante par utilisation de deux moteurs laissés en permanence en série, chaque moteur possédant en plus de ses ampères-tours série normaux un certain

(1) Journal of the Institution of Electrical Engineers, vol. 51, p. 545.

Digitized by Google

nombre d'ampères-tours shunt, additionnels au début du démarrage, puis différentiels à la fin de ce démarrage.

Les caractéristiques de vitesse (1) (figure 18).

1° relative à un moteur ordinaire ;

2° relative à un moteur ordinaire avec inducteurs shuntés ;

3° relative au moteur Schwend, avec ampères-tours shunt additionnels ;

4° relative au moteur Schwend avec ampères-tours shunt différentiels ;

montrent les différences essentielles de fonctionnement des deux types de moteurs.

La courbe 1, montre l'importance de la variation de l'intensité absorbée par un moteur ordinaire, passant d'une vitesse V_1 à une vitesse V_2.

La courbe 2, montre que, par le shuntage des inducteurs du moteur précédent, la variation de l'intensité n'est que peu modifiée. Par contre, pour le moteur Schwend, les courbes 3 et 4 montrent que le passage de la vitesse V_1 à la vitesse V_2, s'effectue à intensité pratiquement constante.

La transition entre les courbes 3 et 4 s'effectue par le réglage de l'excitation shunt.

Le couple moteur est accru au début du démarrage grâce aux ampères-tours additionnels, tandis que, vers la fin du démarrage, l'intensité, au lieu de tendre asymptotiquement vers zéro, tend vers une valeur finie I choisie (par rapport de démultiplication approprié), de façon à correspondre au rendement maximum du moteur.

Ce dernier point est extrêmement important, car le fait de travailler dans une partie peu étendue de la courbe de rendement doit pouvoir permettre de relever sensiblement cette courbe dans la zone de travail et de porter le rendement de la valeur actuelle de 88 pour cent, pour les moteurs de traction, au chiffre de 92 pour cent, courant pour les autres moteurs.

D'autre part, la courbe 3 dans son prolongement à gauche de l'axe des ordonnées, montre nettement les possibilités de récupération, les ampères-tours shunt étant susceptibles, pour une vitesse déterminée de la motrice, de relever la force contre-électromotrice du moteur au point de faire débiter ce dernier sur le réseau.

Enfin, en débranchant l'excitation série, il est possible, ainsi que

(1) Courbes reproduites d'après VERKEHRSTECHNICH du 21 juin 1925, page 438.

Digitized by Google

le montre la courbe 5, de réaliser la récupération et le freinage du véhicule dans les mêmes conditions qu'avec un moteur shunt.

En réalité, ce schéma séduisant complique un peu l'appareillage de contrôle et impose l'emploi de moteurs plus lourds. Mais on a fait, comme je le montrerai tout à l'heure, de tels progrès dans le sens de la légèreté, qu'il semble possible d'accepter un supplément de poids pour améliorer les caractéristiques du moteur.

Je m'y résoudrai d'autant plus volontiers, qu'outre les avantages signalés ci-dessus, l'utilisation d'un moteur travaillant à intensité constante réduirait notablement les pertes en lignes et dans les sous-stations et permettrait peut-être, toutes choses égales d'ailleurs, de réduire la puissance installée dans ces dernières.

En outre, les différentes combinaisons d'enroulements du moteur Schwend, doivent pouvoir permettre de réduire au minimum le nombre des crans de marche sur résistance.

La véritable économie d'énergie au démarrage serait en effet obtenue par la suppression totale de ces résistances, condition difficile à réaliser sur un tramway.

On a décrit, ici même il y a quelques années, les équipements S.F.A.R. des Ateliers de Constructions Electriques du Nord et de l'Est. Il ne saurait être question de les appliquer aux tramways en raison de leur poids et de leur encombrement.

Ces équipements restent du domaine des chemins de fer.

En résumé, les équipements récents comportent toujours un et plus généralement deux régulateurs de vitesse, assurant les différents couplages de moteur série avec interposition, puis élimination de résistances et utilisation au maximum des possibilités de shuntage des inducteurs.

Je passerai en revue successivement l'évolution de la construction des moteurs et de celle des équipements de contrôle.

B. — Moteurs de traction.

Le moteur sans pôles de commutation ne présente plus, à l'heure actuelle, qu'un intérêt historique et seules les difficultés financières auxquelles se heurtent la plupart des exploitants de tramways ont permis à ces moteurs de subsister, malgré l'intérêt évident qu'il y aurait à les remplacer immédiatement par des moteurs modernes.

De poids élevé, descendant rarement au-dessous de 28 kg par cheval dans les limites de puissance unihoraire normalement employées pour

Digitized by Google

matériel de tramways, ces moteurs réalisent une puissance rapidement limitée par une mauvaise commutation et par les risques de flashs.

Moteurs modernes à pôles de commutation.

Le moteur à pôles de commutation, apparu en Amérique en 1906 et en Europe vers 1910, a rapidement supplanté le précédent, grâce à ses qualités multiples :

— encombrement plus faible ;

— poids réduit de 10 à 15 pour cent ;

descendant fréquemment au-dessous de 25 kg par cheval unihoraire ;

— commutation parfaite pour des surcharges de 100 pour cent et pour des surtensions de 25 à 30 pour cent.

L'absence d'étincelles a permis, en outre, la suppression de l'emploi de balais abrasifs qui réduisait de façon importante la vie des collecteurs.

Ces avantages furent assez facilement reconnus.

Toutefois, ce n'est que depuis quelques années qu'une de ses qualités — la plus intéressante peut-être — cessa d'être discutée.

Il m'avait été donné, dès 1912, dans un rapport présenté au XVII[e] Congrès international de tramways de Christiania, sur ces moteurs nouveaux alors et encore méconnus, d'insister spécialement sur les économies d'énergie réalisables par le shuntage des inducteurs que ces moteurs seuls permettent.

Ces économies résultent de la substitution de crans de marche avec shuntage des inducteurs, pour lesquels le rendement électrique du véhicule est excellent, à un certain nombre de crans de marche sur résistances pour lesquels le rendement est infime.

En particulier, au début du démarrage sur le premier cran de marche avec résistances, le rendement global (moteurs et résistance) est de l'ordre de 2 pour cent.

Le nombre des crans de marche sur résistances étant ainsi réduit, on voit que la consommation d'énergie est beaucoup moins fonction que précédemment de la valeur professionnelle du machiniste.

Ce point est extrêmement important.

Toutefois, malgré les résultats probants d'essais précis effectués dès 1913 par la C.G.O. sur les motrices types B et G, une certaine méfiance subsistait parmi les Ingénieurs de Traction, quant à la tenue des col-

Digitized by Google

lecteurs pour des shuntages atteignant 50 pour cent sous l'influence des démarrages répétés du matériel de tramways.

C'est ainsi qu'en 1921, la S.T.C.R.P., lors de sa formation, trouva parmi le matériel en provenance des différents réseaux rachetés par le département de la Seine, un nombre important de motrices de réalisation récente, équipées avec des moteurs modernes, munis de pôles de commutation, mais dont la gamme de démarrage ne prévoyait pas l'utilisation du shuntage des inducteurs.

Des essais précis de détermination d'une gamme de démarrage utilisant 2 crans de shuntage à 33 pour cent et 50 pour cent pour effectuer la transition série parallèle et 1 cran de shuntage à 33 pour cent, après mise en parallèle des moteurs pour permettre, le cas échéant, une vitesse plus grande des motrices, mirent en évidence, d'une façon irréfutable, des économies d'énergie variant entre 11 et 13 pour cent (1).

En dehors de ces économies d'énergie facilement chiffrables, la meilleure gradation des accélérations au cours des démarrages a conduit à une réduction des dépenses d'entretien et à l'amélioration du confort des voyageurs.

Il ne nous a pas paru inutile de rappeler ces faits qui datent de cinq ans à peine.

A l'heure actuelle, l'intérêt des pôles de commutation et, en particulier, du shuntage des inducteurs sur matériel de tramways (2) n'est plus discuté.

Un autre avantage précieux et souvent peu connu du moteur à pôles de commutation prévu pour shuntage des inducteurs, réside dans la grande élasticité de ses limites d'emploi.

C'est ainsi que les moteurs TH. 563, dont sont dotées les motrices L de la S.T.C.R.P., permettent, avec une commutation parfaite et un rendement au moins égal à 80 pour cent, de réaliser des efforts de traction dans le rapport de 1 à 25. De plus, avec utilisation du shuntage des moteurs en parallèle, c'est-à-dire sous la tension normale du réseau, il est possible d'accroître la vitesse de 12 à 15 pour cent.

Un même réseau peut donc utiliser de tels moteurs avec un excellent rendement dans les conditions les plus variées de poids, de ma-

(1) Des essais d'adaptation du shuntage aux moteurs non munis de pôles de commutation choisis parmi les meilleurs n'ont donné aucun résultat satisfaisant.

(2) On trouve actuellement en Amérique de tels moteurs pour des puissances de 10 ch (omnibus pétroléo-électriques, véhicules à accumulateurs).

Digitized by Google

tériel roulant, de vitesse et de profils de lignes et concourir ainsi à la réduction du nombre des types de moteurs nécessaires pour un réseau varié.

Moteurs auto-ventilés.

L'importance primordiale de la légèreté dans la construction du matériel roulant conduisit rapidement à adopter pour les moteurs des vitesses de rotation de plus en plus élevées, afin d'en réduire la masse.

La diminution de la capacité thermique des moteurs — fonction directe de leur masse — imposa par suite l'utilisation de matériaux isolants d'excellente tenue aux températures élevées et surtout aux fortes variations de ces dernières. C'est ainsi que se développa rapidement la technique de l'emploi des vernis d'imprégnation, sous un vide élevé, et surtout de l'emploi des laques synthétiques.

Toutefois, la sécurité de fonctionnement étant d'un intérêt capital en traction, il apparut utile de ne pas trop pousser l'élévation de température et de rechercher l'allégement des moteurs par la réalisation d'un refroidissement artificiel, au moyen d'un ventilateur calé à l'extrémité de l'induit côté pignon et aspirant l'air frais à l'extérieur du moteur. De là sont nés les moteurs auto-ventilés.

Des craintes très vives relatives à l'introduction des poussières, de l'humidité, de la neige, retardèrent un certain temps l'adoption de ces moteurs.

Il faut toutefois bien remarquer qu'il ne s'agissait pas d'installer sur matériel roulant un moteur ouvert du type ordinaire, mais bien d'introduire de l'air prélevé en un endroit nettement déterminé, suffisamment à l'abri de la poussière et, le cas échéant, filtré.

D'ailleurs, ainsi que je l'ai déjà indiqué, la fixation des moteurs directement sous la caisse des voitures avait permis l'éloignement de ces derniers du sol et, par suite, des poussières et des projections de boue.

En ce qui concerne l'humidité, l'emploi de laques synthétiques absolument inattaquables n'a pas été la moindre cause du développement rapide du moteur auto-ventilé.

La puissance massique réalisée par les moteurs auto-ventilés à grande vitesse est incomparablement supérieure à celle des moteurs précédemment construits.

Le tableau suivant qui groupe, pour trois firmes différentes et pour trois pays différents, les résultats obtenus pour un moteur auto-ventilé et un moteur blindé de même puissance, fait ressortir cet accroissement de la puissance massique.

Digitized by Google

	Type du moteur	Puissance unihoraire en chevaux	Puissance continue en chevaux	Vitesse de rotation unihoraire en t/mn	Poids du moteur en kg.	Poids par cheval unihoraire en kg.	Poids par cheval continu en kg.	Rapport P. unihoraire / P. continu
A. E. G. ALLEMAGNE	U. 105 (1904)	37	1[illegible]	450	1270	34,2	115	3,3
	U. S. L. 253 (1922)	40	29	770	824	20,5	28,6	1,38
C. F. T. H. FRANCE	T. H. 2 4 tours (1906)	43	18	410	985	23	54,5	2,4
	T. H. 563 (1922)	50	36	800	720	14,4	20	1,39
WESTINGHOUSE ÉTATS-UNIS	A. 12 (1907)	25		715	1000	40		
	W. 508 (1921)	25		1130	470	18,8		

Le moteur TH. 563 (fig. 19 et 20) dont 950 exemplaires équipent le matériel léger des T.C.R.P. constitue, à notre connaissance, le record mondial en matière de poids par cheval continu.

Si l'on compare les valeurs des poids par cheval unihoraire et par cheval continu, à celles correspondant au moteur TH. 523 utilisé sur le matériel type G de la S.T.C.R.P. et qui était encore de construction très suivie en 1922, les gains en poids sont respectivement de 37 pour cent et de 60 pour cent.

J'ai indiqué intentionnellement pour les moteurs ci-dessus la puissance continue, la puissance unihoraire étant insuffisante pour apprécier le moteur auto-ventilé.

En effet, l'adoption d'une ventilation énergique, en réduisant considérablement la masse des moteurs, a réduit par là même leur capacité de surcharge par rapport à la puissance continue.

Ces considérations ressortent plus nettement de l'examen du rapport Puissance unihoraire.

Puissance continue.

Ce rapport présentait, pour les moteurs blindés, une valeur ordinairement comprise entre 2,5 et 3,5 pour les anciens moteurs non munis

Digitized by Google

de pôles de commutation, et de 2 à 2,5 pour les moteurs plus récents, munis de pôles de commutation.

Avec les moteurs auto-ventilés de tramways, cette valeur descend au-dessous de 1,4 et tend vers l'unité au fur et à mesure que s'accroît l'efficacité de la ventilation.

Il en résulte que la capacité de surcharge par rapport à la puissance continue diminue rapidement, et en particulier serait nulle dans le cas théorique où le rapport précédent serait égal à l'unité.

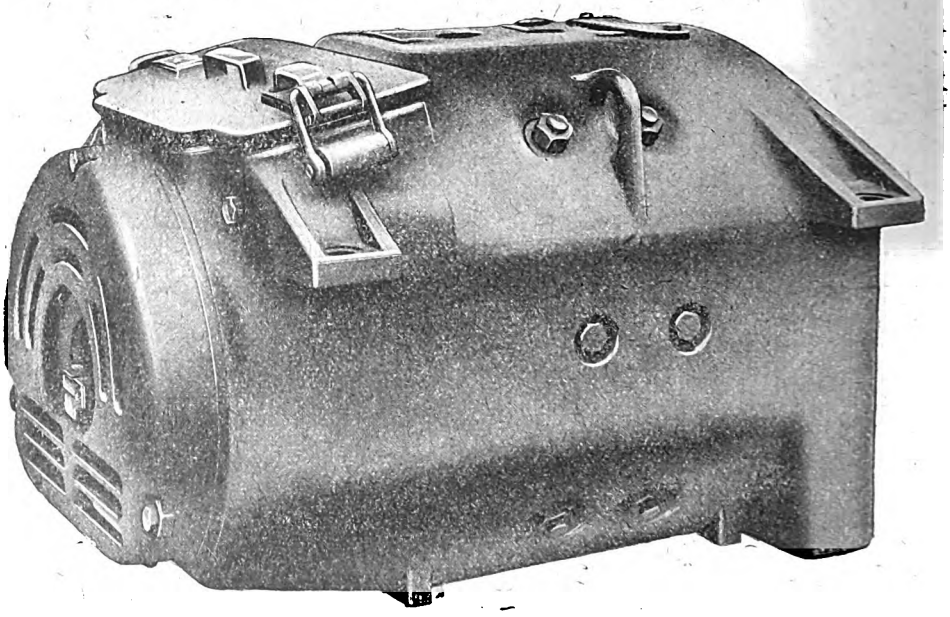


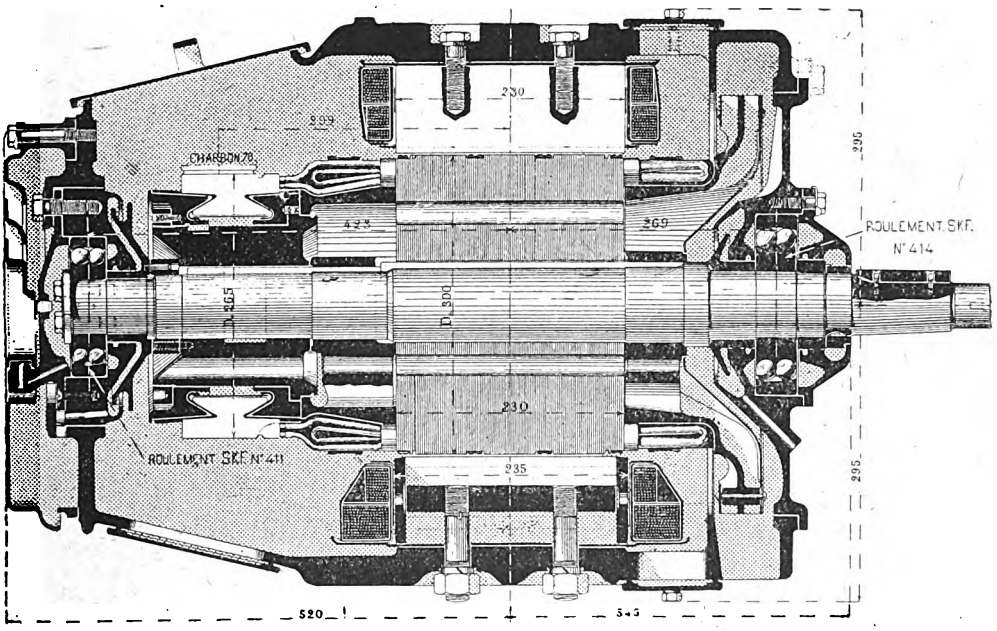
Fig. 19. — Moteur T. H. 563 de la C. E. T. H. Ensemble.

Par suite, deux moteurs de même puissance continue et de même masse peuvent présenter, suivant l'efficacité de leur ventilation, des puissances unihoraires très différentes.

Ce dernier point étant du plus haut intérêt, on a cherché, à différentes reprises, à remplacer la notion de service unihoraire par la définition d'un service mieux approprié à la détermination de la capacité de surcharge.

Nous citerons à ce sujet l'intéressante méthode préconisée par MM. Boucherot et Darrieus, qui consiste à comparer les moteurs entre eux, d'une part d'après leur puissance continue, définie par un échauffement déterminé et, d'autre part, par le temps au bout duquel une surcharge donnée conduirait, pour chacun d'eux, au même échauffement que pour la puissance continue.

Digitized by Google



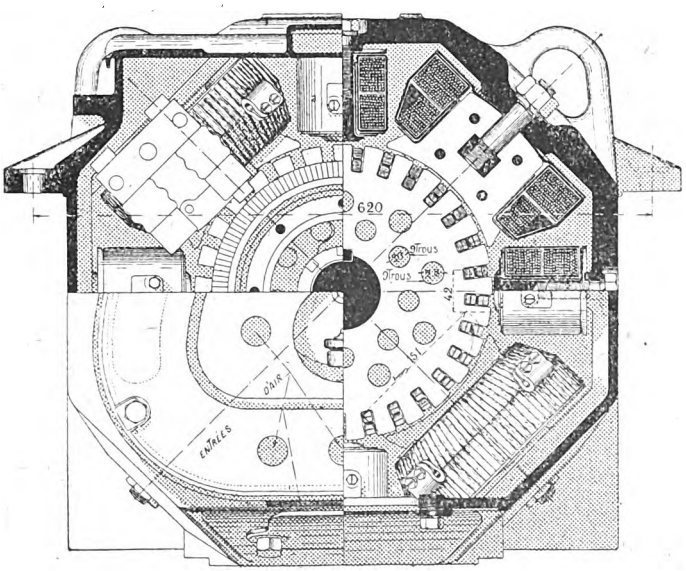


Fig. 20. — Moteur T. H. 563 de la C. E. T. H. Coupes.

Digitized by Google

Les rapports des temps d'essais des différents moteurs mesureraient le rapport des capacités de surcharge.

L'adoption de cette méthode faciliterait beaucoup la détermination par les constructeurs et par les exploitants, des caractéristiques du moteur à adopter pour le matériel roulant et compléterait très heureusement, en les modifiant légèrement, *les règles d'unification des moteurs électriques de traction à courant continu pour voies ferrées d'intérêt local*, arrêtées par le Comité de l'Union des Syndicats de l'Electricité sur études de la 24e Commission.

Améliorations récentes apportées a la construction des moteurs.

Nous passerons très rapidement en revue les différentes améliorations apportées récemment à la construction des moteurs.

Carcasses. — La carcasse en deux parties a complètement disparu pendant ces dernières années, sauf en Angleterre.

La carcasse en une seule pièce, fermée latéralement par deux flasques portant les paliers à coussinets ou à roulements à billes, est d'un emploi absolument général.

Je signale en passant la tendance américaine à constituer les carcasses en acier embouti, afin de supprimer les inconvénients résultant des soufflures.

L'emploi de coussinets en bronze au plomb et plus encore de coussinets antifrictionnés, s'est considérablement réduit ces derniers temps pendant que se généralisait l'emploi des roulements à billes qui contribuent à l'allégement des moteurs par la réduction considérable qu'ils permettent pour l'entrefer. Ce dernier n'étant plus conditionné par des considérations d'usure de coussinets, peut être réduit à des valeurs de l'ordre de 2 mm pour des moteurs dont les vitesses maxima de rotation atteignent 2 000 t/mn.

En outre, la régularité de l'entrefer sous les différents pôles et sa constance dans le temps a beaucoup contribué à l'amélioration de la commutation. Les économies de lubrifiant que procurent ces roulements sont loin d'être négligeables.

Pour remédier aux pertes par courants de Foucault produits sur les pièces polaires par la denture de l'induit aux vitesses de rotation élevées admises et dont la réduction de l'entrefer accroîtrait, de façon importante, la valeur, on tend à réaliser les masses polaires principales et également les masses polaires de commutation en tôles feuilletées à haute teneur en silicium.

Digitized by Google

Induit. — Les tôles formant le noyau d'induit sont, comme les masses polaires, constituées par de l'acier doux à haute teneur en silicium, pour tenir compte des fréquences de plus en plus élevées des cycles d'aimantation.

L'arbre — largement dimensionné pour permettre la gamme importante des couples moteurs nécessaires — est actuellement prévu pour remplacement facile sans démontage des différents organes, collecteurs, noyaux d'induit.

Enroulements. — La recherche d'une puissance massique de plus en plus élevée, conduit à généraliser l'emploi du cuivre sur champ ou du fil carré pour la fabrication des enroulements.

L'isolation de ces enroulements a également constitué une des principales préoccupations des techniciens des tramways. Les isolants employés devant résister non seulement aux trépidations et aux températures élevées, mais, ce qui est plus difficile, aux variations constantes de la température et, enfin, être absolument inattaquables sous l'influence de l'humidité et des poussières susceptibles d'être introduites par la ventilation.

La S.T.C.R.P. qui avait, il y a quelques années, mis au point une méthode très pratique et très sûre pour l'isolation des enroulements terminés par étuvage dans le vide et imprégnation, également dans le vide, de vernis spéciaux d'excellente tenue aux températures élevées, tend actuellement à abandoner ce procédé pour l'emploi des laques synthétiques, qui assurent des résultats nettement supérieurs à ceux obtenus avec les vernis ci-dessus.

Ne pouvant traiter ici cette question malgré son réel intérêt, je renvoie pour le détail des essais effectués au rapport présenté en 1925 par M. Leblond, Sous-Chef de Service du Matériel et de la Traction des Tramways, à la S.T.C.R.P. à la troisième Assemblée Générale des Tramways.

Organes de ventilation. — Sur matériel de tramways, on se limite à une autoventilation par installation, sur l'arbre d'induit, d'un ventilateur à ailettes.

Des différentes dispositions bien connues :

— ventilation série ;

— ventilation parallèle ;

— ventilation compound,

la ventilation parallèle, plus efficace que la ventilation série et moins compliquée que la ventilation compound, tend seule à se développer.

Digitized by Google

L'introduction des boues et corps étrangers étant évitée par la fixation du moteur directement sous la caisse, il suffit, à l'occasion des visites effectuées sur le matériel, exactement avec la même périodicité que pour les moteurs non ventilés, de procéder au soufflage par l'air comprimé d'une poussière légère, d'ailleurs peu abondante et dont l'analyse a montré l'innocuité pour le moteur.

C'est ainsi que la poussière de carbone résultant de l'usure des balais — la plus dangereuse au point de vue de l'isolement général des enroulements — est entraînée à l'extérieur par la ventilation et se trouve en proportions infimes dans les moteurs TH. 563 qui équipent les moteurs L par rapport aux poussières recueillies dans les moteurs non ventilés.

La puissance absorbée par le ventilateur de ces moteurs TH. 563, a fait l'objet de relevés précis et a été trouvée égale à 150 W, soit 3 pour mille seulement de la puissance du moteur.

Equilibrage des induits. — Je signale en passant qu'aux vitesses de rotation élevées utilisées actuellement, l'équilibrage des induits devient indispensable. Cet équilibrage doit être effectué sur l'induit entièrement terminé.

Mesure de la température des moteurs.

Pour en terminer avec les moteurs de traction, nous dirons un mot des méthodes modernes de détermination de la température des moteurs.

Il est bien évident qu'avec les services de plus en plus pénibles exigés des moteurs de traction et surtout depuis l'emploi des moteurs auto-ventilés, il importe de connaître exactement la température des divers organes dans les conditions normales d'utilisation.

La méthode thermométrique s'élimine par la difficulté de mise en place des thermomètres.

La mesure de la température par l'élévation de résistance des enroulements renseigne sur la valeur moyenne de la température et non sur celle du point le plus chaud. Enfin, comme la précédente, elle nécessite l'arrêt de la voiture et ne peut être utilisée sur une motrice en exploitation normale.

La S.T.C.R.P. a étudié en collaboration avec la Compagnie pour la Fabrication des Compteurs, une méthode de mesure permettant d'éviter les inconvénients précédents.

Le principe de la méthode réside dans la mesure, au moyen d'un

Digitized by Google

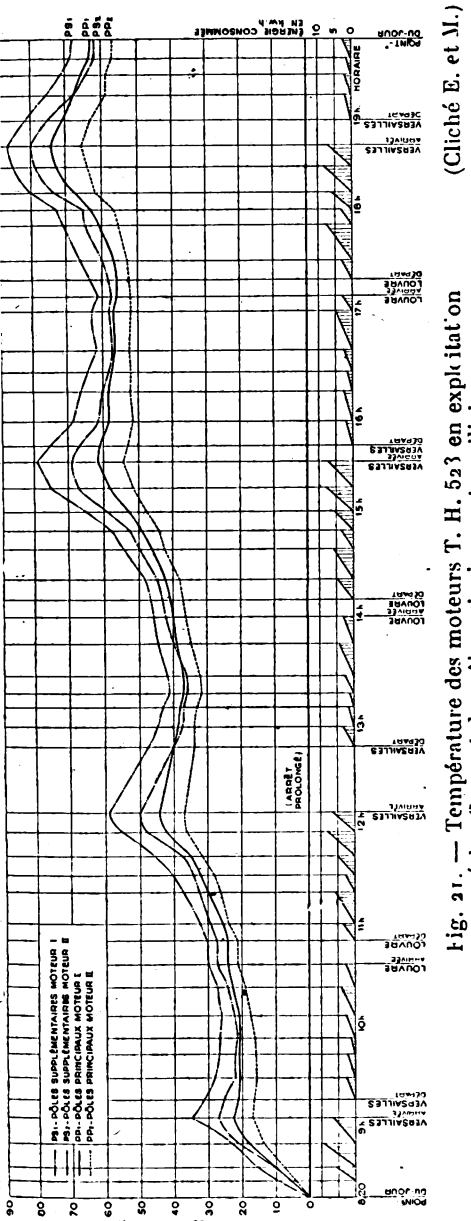


Fig. 21. — Température des moteurs T. H. 523 en exploitation (échauffement des pôles principaux et auxiliaires). (Cliché E. et M.)

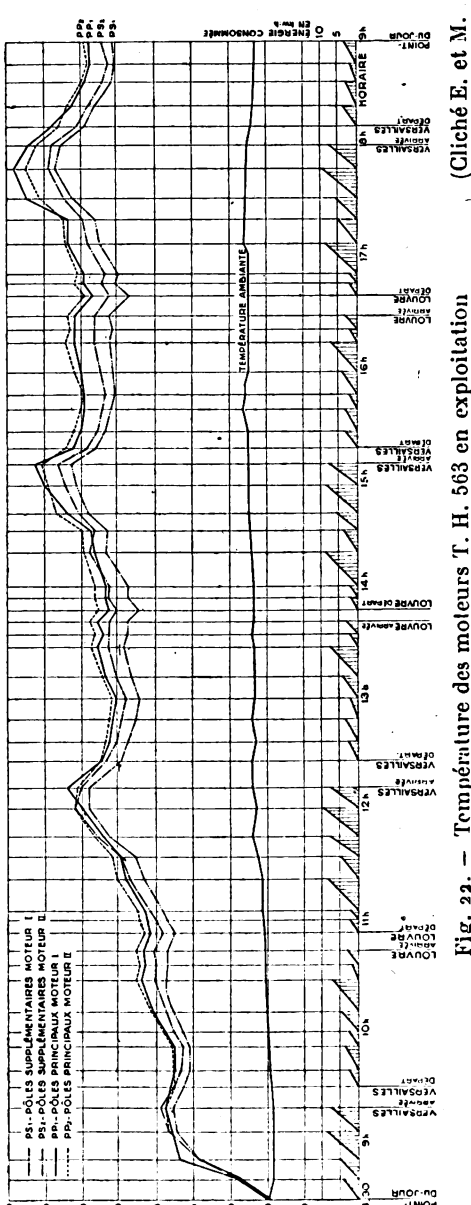


Fig. 22. — Température des moteurs T. H. 563 en exploitation (échauffement de pôles principaux et auxiliaires). (Cliché E. et M.

Digitized by Google

pont de Wheatstone et d'un galvanomètre appropriés, de la résistance d'une *sonde thermométrique* noyée à l'intérieur des enroulements des moteurs.

La résistance de la sonde étant une fonction bien déterminée de sa température et, par suite, de celle de l'enroulement, le galvanomètre est gradué directement en degrés de température.

Sans entrer dans la description des appareils réalisés, ni sur la mise en œuvre de cette méthode, qui a fait l'objet d'une communication de M. PÉRIDIER, en 1926, au Congrès International des Tramways de Barcelone, je donnerai par les deux séries de courbes ci-jointes (fig. 21 et 22), reproduisant les résultats obtenus avec les moteurs TH. 523 et

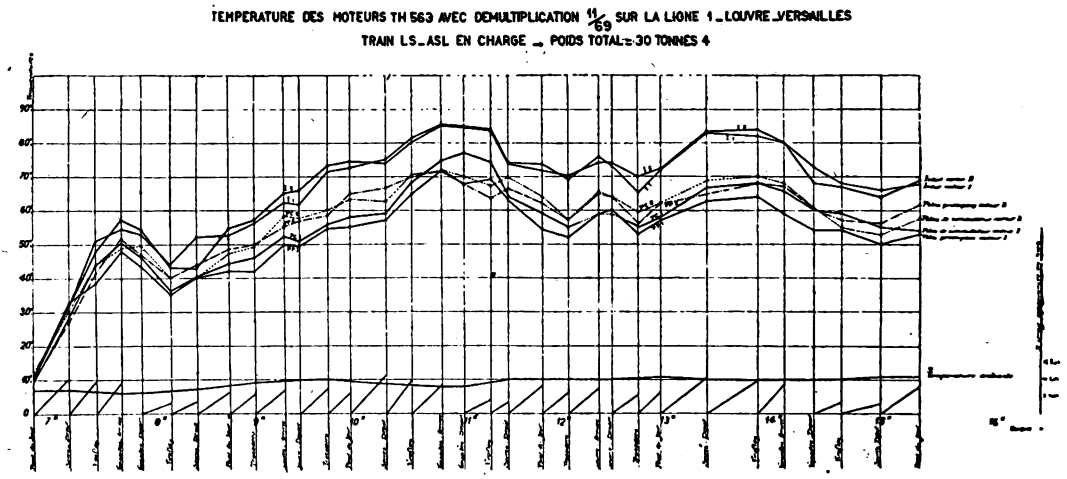


Fig. 23.

TH. 563 sur trains reversibles types Gs-As et Ls-As, sur le parcours de la ligne « Louvre-Versailles », une idée de l'intérêt qu'elle présente.

Dans ces premiers essais, effectués suivant les conditions normales de l'exploitation, des sondes thermométriques avaient été placées sur le cuivre même des enroulements inducteurs principaux et de commutation.

Plus récemment, nous avons étudié l'installation de sondes sur l'induit au contact même du cuivre des sections, avec liaison des extrémités des sondes aux appareils de mesure au moyen de bagues collectrices calées sur l'induit. Cette disposition a donné toute satisfaction et la série des courbes suivantes (fig. 23), reproduit les variations de la température des pôles principaux et auxiliaires et de l'induit du moteur TH. 563 dans les conditions normales de l'exploitation.

Digitized by Google

On voit tout l'intérêt que présentent ces nouvelles méthodes d'essais pour la détermination précise de la puissance du moteur de traction qui convient le mieux à l'exploitation d'une ligne.

C. — Equipements de controle des circuits de traction.

Nous envisagerons d'abord les équipements dits « à contrôle direct », les plus utilisés sur matériel de tramways, puis les équipements à contrôle par unités multiples, dont l'emploi, jusqu'ici réservé au matériel de chemin de fer, tend, sous une forme évidemment simplifiée, à se développer, surtout en Amérique.

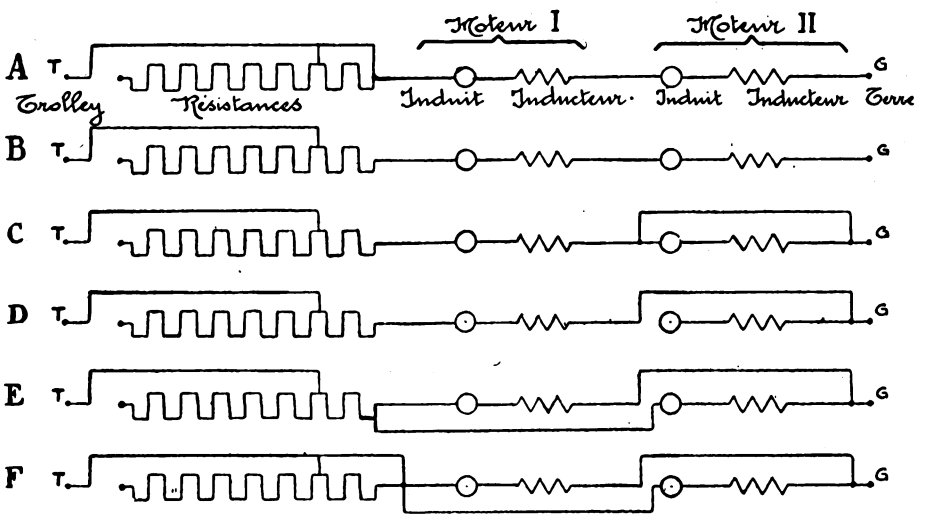


Fig. 24. — Transition série parallèle. Méthode du court-circuit.
A. Marche normale en série.
B. Insertion d'une résistance.
C. Court-circuitage du moteur II.
D Moteur I sous tension avec insertion d'une résistance.
E. Moteurs I et II sous tension avec insertion d'une résistance.
F. Marche normale en parallèle.

Equipements a controle direct. — Les équipements récents à deux ou quatre moteurs prévoient le démarrage série parallèle, le shuntage des inducteurs pour la transition série parallèle, l'inversion du sens de marche, l'isolement d'un ou de plusieurs moteurs avariés et le freinage rhéostatique.

Ils diffèrent de ceux construits précédemment par la réduction du poids et de l'encombrement et par une meilleure disposition des organes permettant un accès facile et un entretien minime.

Le mode de démarrage est le même pour motrices à deux et à quatre

Digitized by Google

moteurs, les moteurs étant, dans ce dernier cas, associés par deux en parallèle.

Les tonnages mis en jeu sur les tramways ne justifient pas, en effet, comme sur les locomotives, la mise en série des quatre moteurs au début du démarrage, qui entraînerait une complication importante des régulateurs de vitesse ainsi qu'un poids et un encombrement trop élevés de ceux-ci.

La transition de la marche série à la marche parallèle, s'effectue par la méthode bien connue du court-circuit d'un moteur (fig. 24).

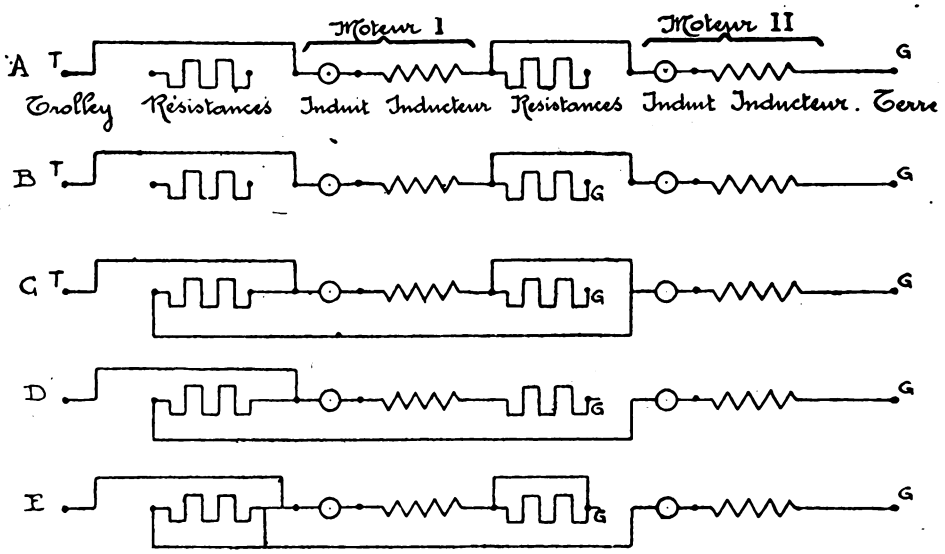


Fig. 25. — Transition série parallèle. Méthode du pont.
A. Marche normale en série.
B. Moteur I sous tension avec insertion d'une résistance.
C. Réalisation du pont.
D. Moteur I et II sous tension avec insertion d'une résistance par moteur.
E. Marche normale en parallèle.

La méthode du pont (fig. 25), préférable au point de vue de la constance de l'accélération, mais plus compliquée au point de vue de la construction des régulateurs de vitesses, ne tend actuellement à se développer que sur le matériel à unités multiples.

Le freinage rhéostatique, si commode par la limitation automatique de la vitesse qu'il permet dans les déclivités, s'est développé de manière importante depuis quelques années.

Pour réaliser ce freinage, le schéma précédemment employé (fig. 26), d'après lequel les moteurs débitaient en parallèle sur des résistances avec emploi d'un fil d'équilibre, tend actuellement à céder

Digitized by Google

la place au schéma de freinage avec inducteurs croisés (fig. 27), qui présente, par rapport au précédent, l'avantage de supprimer pratiquement les courants de circulation à travers les induits.

Au point de vue purement constructif, la seule modification importante apportée aux régulateurs de vitesses, outre la disposition plus ac-

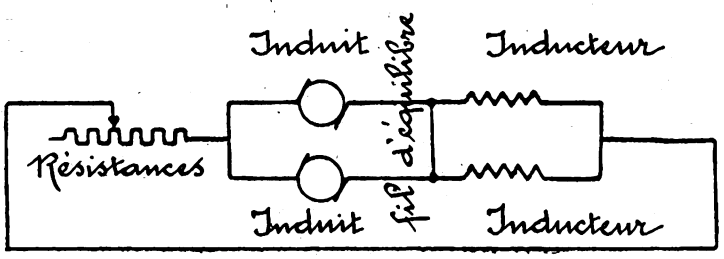


Fig. 26. — Freinage électrique. Schéma à fil d'équilibre.

cessible des organes, a consisté à munir chaque contact de son circuit magnétique de soufflage (fig. 28).

Résistances de démarrage. — La recherche de la légèreté a conduit fréquemment à envisager l'emploi de tôles d'acier spécial à haute résistivité, présentant simultanément un faible poids et une grande surface de radiation. Les essais effectués à la S.T.C.R.P. en particulier,

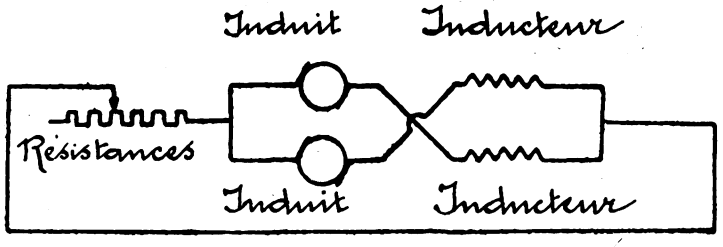


Fig. 27. — Freinage électrique. Schéma à inducteurs croisés.

n'ont pas conduit à des résultats supérieurs à ceux obtenus avec grilles de fonte spéciale dont le prix d'achat est sensiblement plus réduit.

Je signalerai que, sur matériel bien suspendu, la tenue de ces dernières donne toute satisfaction au point de vue de la résistance mécanique et qu'en particulier sur la motrice L des T.C.R.P., il a été possible, grâce à l'amélioration de la suspension, de réduire le poids des résistances de démarrage à 90 kg contre 120 kg sur le matériel précédent.

Digitized by Google

Matériel divers. — Je passerai sous silence les appareils accessoires : disjoncteurs, coupleurs, interrupteurs, coupe-circuit, etc... au point depuis longtemps.

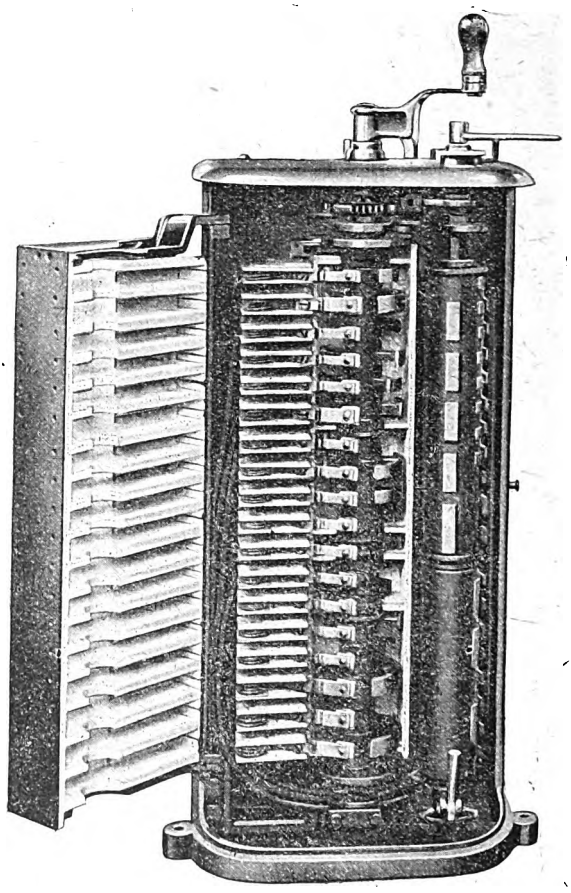


Fig. 28. — Régulateur B 350 X de la C. E. T. H. à freinage rhéostatique et à soufflage individuel des contacts. (cliché E. et M.)

Rupteur de ligne de la Compagnie Thomson-Houston.

La recherche de l'allégement du matériel et de la sécurité de fonctionnement a incité certains constructeurs à faire réaliser par un même appareil les fonctions précédemment dévolues à plusieurs organes. Tel est le cas du rupteur de ligne de la C.F.T.H. (Line Breaker).

Cet appareil, dont la figure 29 donne le schéma de fonctionnement, permet l'admission du courant de traction sur le régulateur de vitesse

Digitized by Google

dès que la manette se trouve placée sur le premier cran et réalise la coupure dès le commencement du mouvement en arrière.

Le machiniste ne peut ensuite rétablir le courant qu'en revenant au premier cran, ce qui supprime toute fausse manœuvre.

Les arcs de rupture ne se produisent ainsi plus sur les segments et doigts de contact, dont les frais d'entretien sont considérablement ré-

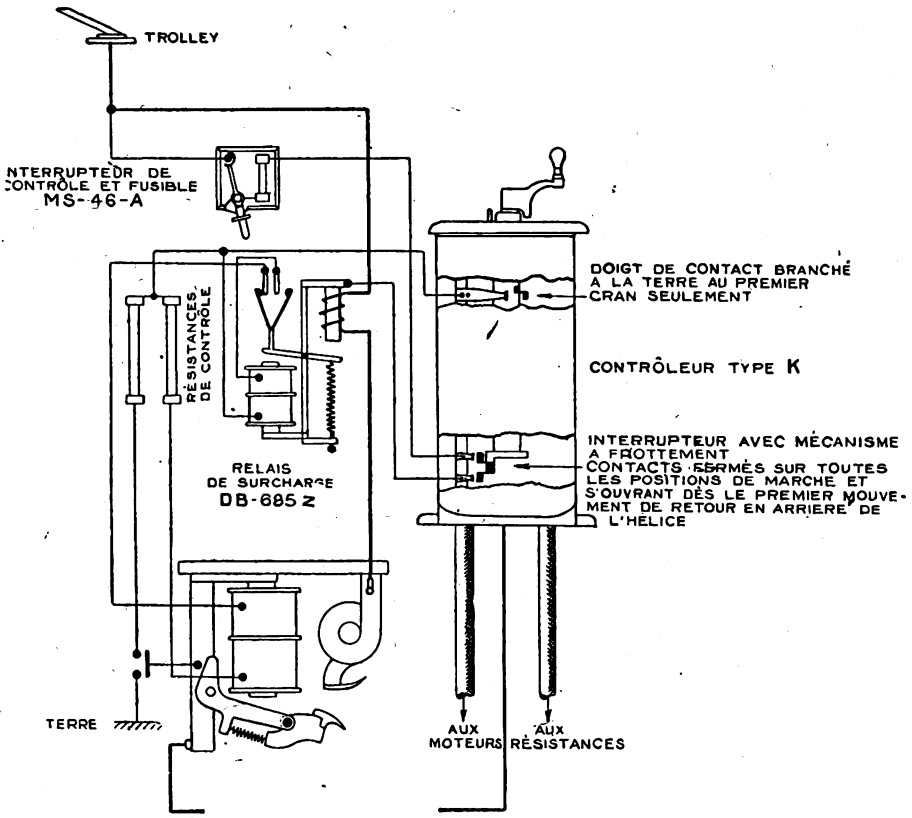


Fig. 29. — Rupteur de ligne de la C. E. T. H. Schéma de fonctionnement.

duits, mais sur deux contacts largement dimensionnés et facilement remplaçables.

L'emploi de cet appareil permet, par suite, de réduire le dimensionnement des doigts de contact et segments, ainsi que l'importance des organes de soufflage qui deviennent pratiquement superflus.

En outre, le rupteur de ligne joue le rôle de disjoncteur à maxima d'intensité et à minima de tension.

Il contribue ainsi, à lui seul, à réaliser les trois points suivants : allégement du matériel, réduction des frais d'entretien et accroisse-

Digitized by Google

ment de la sécurité de service, et par là même, a son emploi tout indiqué sur les voitures à un seul agent.

Par ses fonctions multiples, il constitue la transition entre l'équipement à contrôle direct et l'équipement à unités multiples.

Equipements a unités multiples. — On entend souvent les profanes critiquer l'emploi des voitures d'attelages dans Paris. Comment, cependant, pourrait-on autrement exploiter économiquement les lignes à grandes variations de trafic suivant les heures de la journée ?

Certaines lignes du réseau des T.C.R.P. présentent un nombre-horaire de départs-voiture variable de 8 à 48, avec des durées de pointes de 2 heures le matin et 2 heures le soir.

Il n'y a pas d'autre solution au problème du transport d'une clientèle à intensité aussi variable que celle qui se déplace journellement et en peu de temps, entre les villes et leur banlieue immédiate, que de constituer, partout où cela est possible, des trains de 2,3 et même 4 voitures.

Au point de vue des dépenses d'exploitation, je signalerai pour fixer les idées que, pour le mois de mars 1927, la place kilométrique offerte dans un attelage ne coûte que les $\frac{54}{100}$ de la place kilométrique dans une motrice.

Les équipements de trains réversibles à 1 ou 2 motrices remorquant ou poussant 1 ou 2 attelages, sont en général peu appliqués. Je ne connais personnellement pas d'applications autres que celles de la S.T.C.R.P.

En Amérique, la tendance est d'adapter de plus en plus aux tramways des équipements de contrôle dits à unités multiples réservés jusqu'alors au matériel de chemins de fer.

Je trouve que, pour des réseaux de tramways urbains ou suburbains, ces équipements sont beaucoup plus compliqués que les équipements précédents que je préfère personnellement.

Parmi les équipements à unités multiples, on retrouve sur le matériel tramways les deux grandes catégories d'équipements des locomotives : les équipements à contrôle électro-pneumatique dont la Westinghouse Electric C° s'était fait une spécialité, et que la G. E. C° a adoptés également ces dernières années et les équipements électromagnétiques réalisés pour la majeure partie par la G. E. C°.

Je ne puis, dans ce court exposé des tendances actuelles, faire la description de tous les systèmes réalisés à ce jour.

Aussi je décrirai succinctement deux équipements qui peuvent être

Digitized by Google

considérés comme les types les mieux adaptés au matériel de tramway : l'équipement Pneumatic Control, simple réduction pour tramway de l'équipement bien connu en France et utilisé en particulier sur le matériel récent des chemins de fer de l'Etat et l'équipement type M de la G. E. C°, dont 175 exemplaires sont depuis peu en service sur les tramways de Chicago où ils donnent toute satisfaction.

Dans ces deux équipements, la commande d'un train peut s'effectuer d'une automotrice quelconque et quel que soit d'ailleurs l'ordre dans lequel les voitures sont attelées.

Equipement Pneumatic Control. — L'originalité de cet équipement réside dans la fermeture mécanique d'un certain nombre de contacteurs, par une série de cames montées sur un arbre dont la rotation est assurée pneumatiquement.

L'enclanchement est ainsi obligatoirement assuré dans l'ordre voulu sans interlock ni verrouillage d'aucune sorte.

Un rupteur de ligne analogue à celui décrit précédemment assure la fermeture et la coupure des circuits de traction, ainsi que le contrôle de la valeur de l'intensité et de la tension d'alimentation.

Par mesure de sécurité, ce rupteur, ainsi, d'autre part, que le tambour d'inversion de marche, font l'objet d'une commande pneumatique spéciale, quoique présentant des verrouillages avec la commande de l'arbre des contacteurs.

Enfin, un relais d'accélération permet le démarrage automatique du train assurant, par suite, les avantages suivants : économie d'énergie, rapidité de démarrage, confort des voyageurs et suppression de manœuvres maladroites.

Un dispositif de by-pass permet, le cas échéant, de réaliser un démarrage non automatique.

Pour la commande d'un nombre quelconque d'automotrices, il suffit d'établir sur toute la longueur du train un nombre de câbles restreint (compris entre 7 et 10, suivant la complication des opérations à effectuer et le nombre des moteurs) d'une section très faible, de l'ordre de 3 mm².

L'air comprimé nécessaire au fonctionnement des électro-valves — de pression comprise entre 3,5 et 5 kg — peut être fourni par le compresseur utilisé pour le freinage.

La figure 31 donne le schéma de l'équipement P. C. N° 5, établi spé-

Digitized by Google

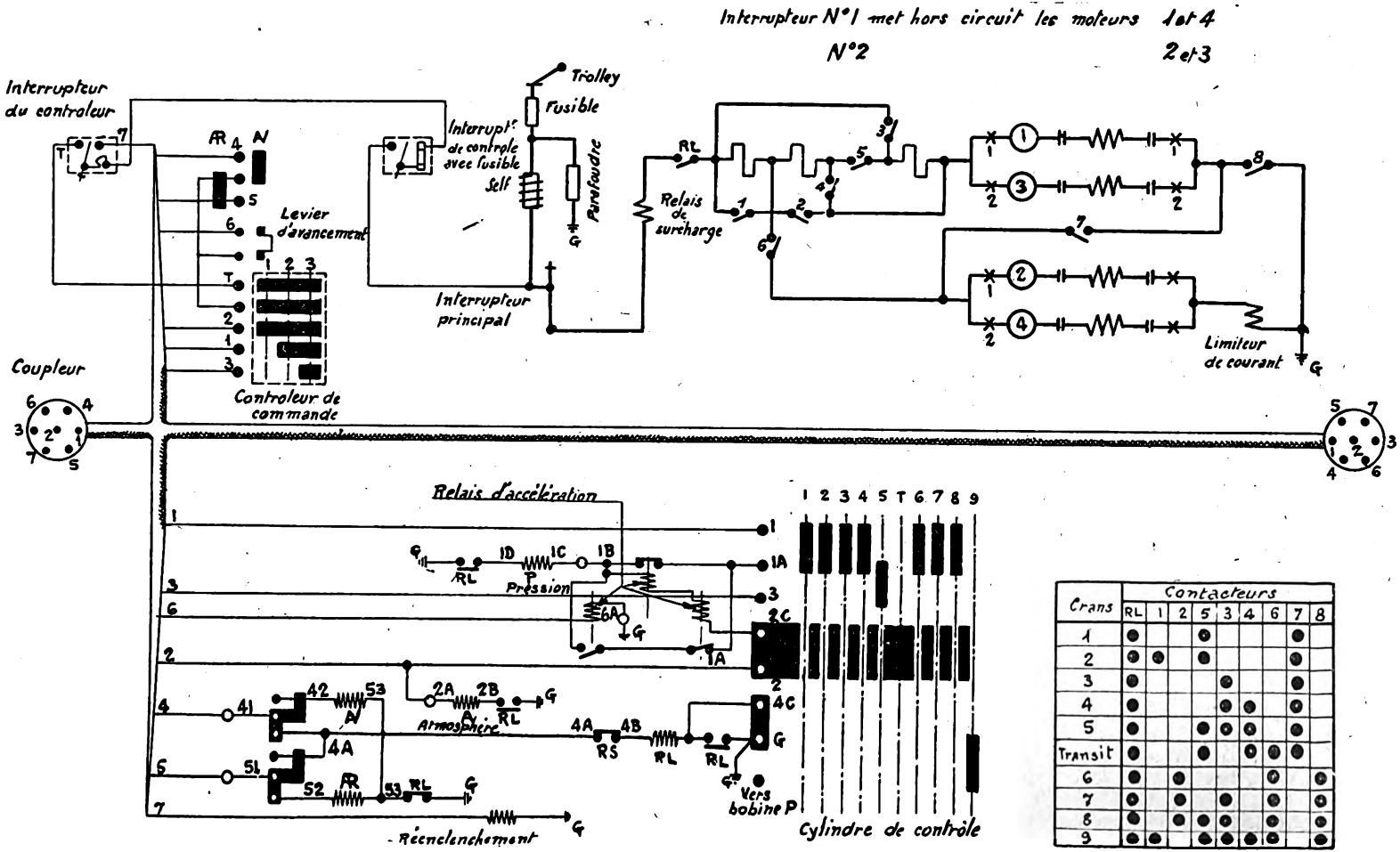


Fig. 30. — Equipement Pneumatic Control. Schéma général.

Digitized by Google

cialement par la C.F.T.H. pour motrice de tramway comportant 4 moteurs de 75 ch.

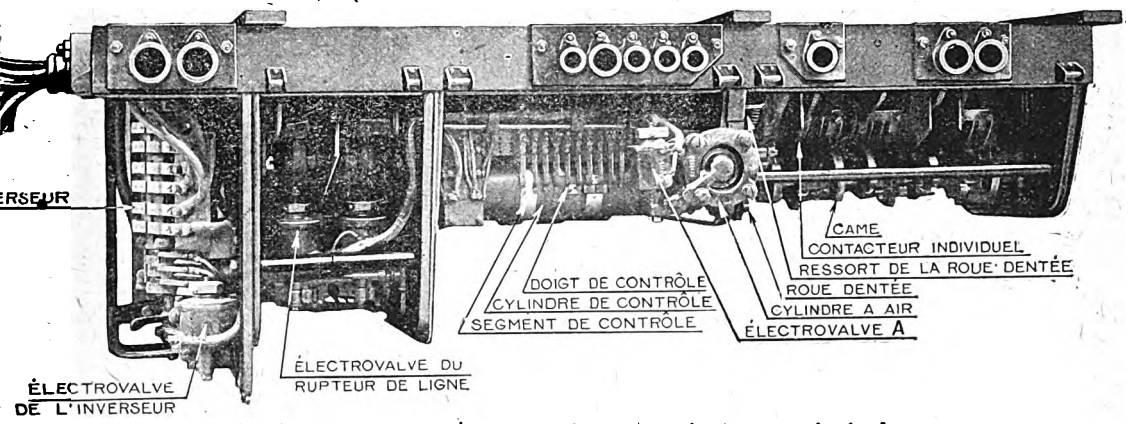


Fig. 31. — Equipement Pneumatic Control. Régulateur principal.

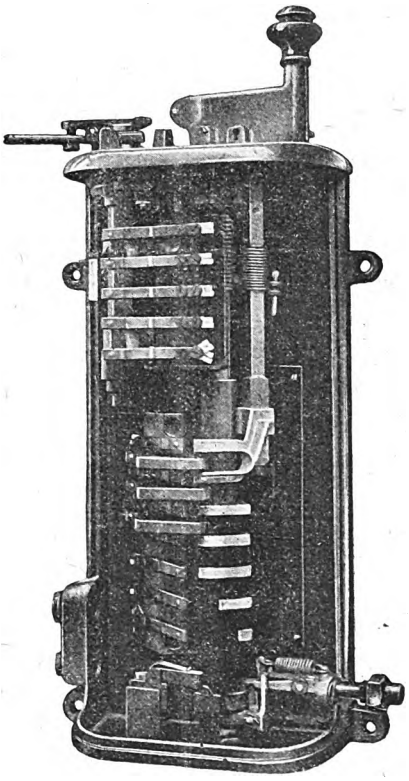


Fig. 32. — Equipement Pneumatic Control. Régulateur auxiliaire.

De nombreux équipements sont actuellement en service en Amérique, pour utilisation de 2 moteurs seulement. (Equipement P.C. N° 9 de la G. E. C° pour 2 moteurs de 80 ch).

Digitized by Google

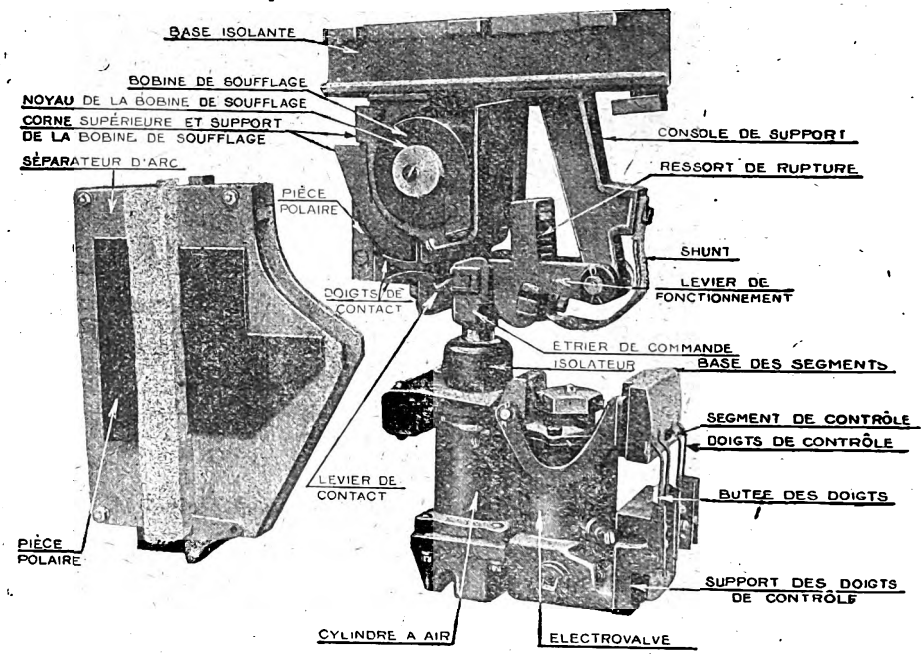


Fig. 33. — Equipement Pneumatic Control. Rupteur de ligne.

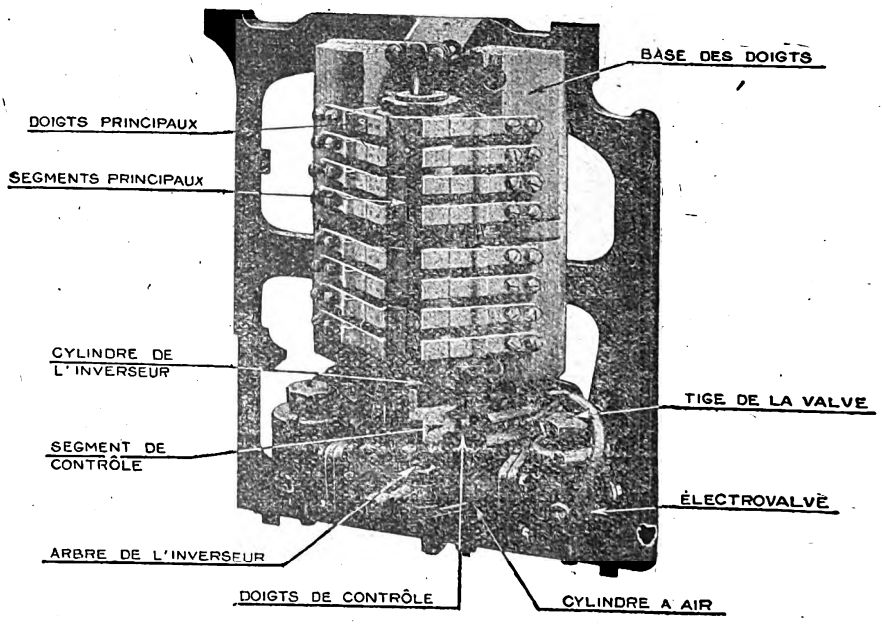


Fig. 34 — Equipement Pneumatic Control. Inverseur de marche.

Digitized by Google

La figure 31 donne l'aspect du contrôleur principal et les figures 32, 33 et 34 représentent respectivement le contrôleur auxiliaire, le rupteur de ligne, le cylindre inverseur.

Equipement type M de la General Electric C°.

L'équipement P.C., malgré ses avantages indiscutables, est relativement encombrant, bien qu'il puisse être établi en deux blocs distincts pour commodité de montage.

Il est, malgré tout, un peu compliqué pour matériel de tramway, lorsque l'on veut utiliser au maximum les possibilités de shuntage et surtout le freinage rhéostatique.

Il nécessite, d'autre part, une source d'air comprimé dont le fonctionnement défectueux peut compromettre toute la commande du train.

Pour remédier à ces inconvénients, la General Electric C° a sorti récemment pour les nouvelles voitures de Chicago, une réduction pour tramway de l'équipement type M utilisé jusqu'ici sur grosses unités.

Dans cet équipement, les liaisons entre les moteurs et le réseau sont assurées comme précédemment par des contacteurs commandés non plus pneumatiquement, mais électriquement.

La disposition est telle qu'il n'est point besoin d'interlocks pour assurer le verrouillage des contacteurs et leur fermeture dans l'ordre voulu.

Dans un but de simplification, la régulation de la vitesse n'est pas automatique comme dans l'équipement P.C. De même, la transition série parallèle s'effectue par la méthode du court-circuit d'un moteur et non par la méthode du pont.

L'équipement comporte simplement :

— 2 régulateurs de dimensions réduites présentant sensiblement les dispositions des régulateurs pour contrôle direct, c'est-à-dire comportant une hélice principale et un cylindre inverseur verrouillés mécaniquement ;

— 1 caisse de groupement des contacteurs contrôlés par l'hélice principale du régulateur (au nombre de 7), pour assurer toutes les combinaisons désirables en trolley (8 contacteurs en caniveau) ;

— 1 inverseur électromagnétique contrôlé par le cylindre inverseur du régulateur ;

— 1 rupteur de ligne analogue à ceux décrits précédemment.

Le nombre des fils d'intercommunication des différentes automo-

Digitized by Google

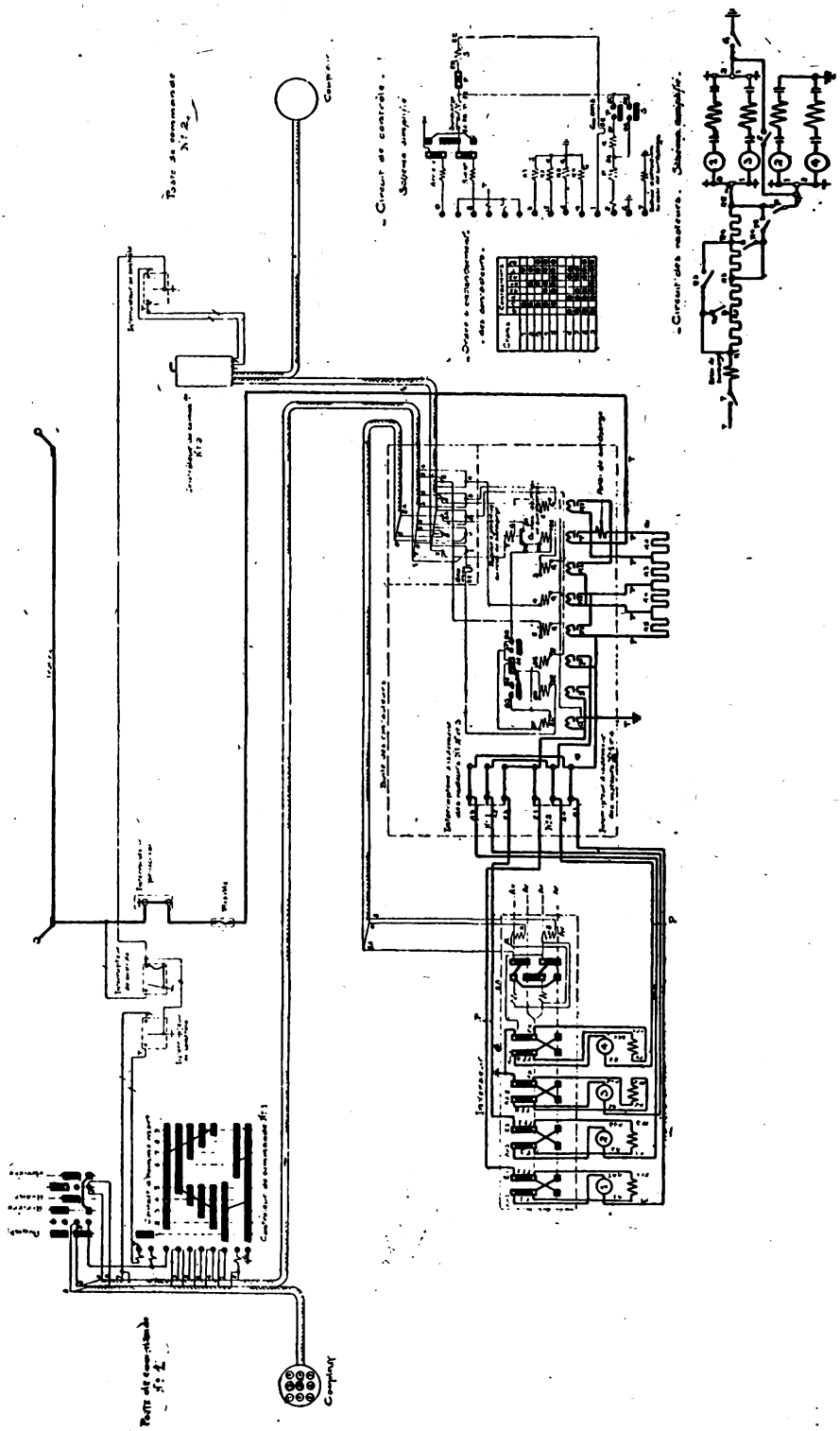


Fig. 35. — Schéma général d'équipement Sprague G. E. Cº, type M.

Digitized by Google

trices est généralement un peu plus élevé que pour les équipements P. C., mais la section des fils reste aussi faible : 3 mm² environ.

La figure 35 donne le schéma d'équipement à 4 moteurs.

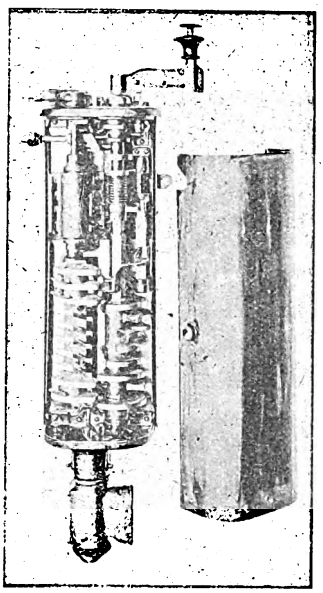


Fig. 36. — Equipement type M de la G. E. C°. Régulateur.

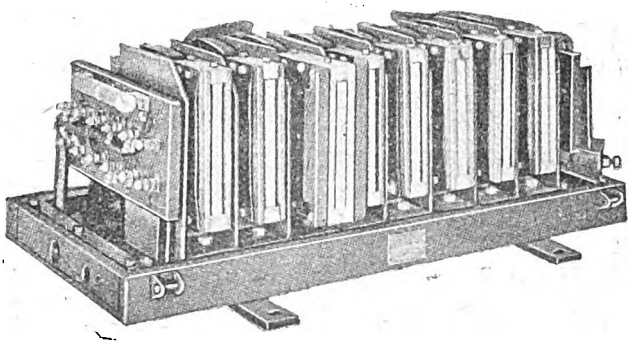


Fig. 37. — Equipement type M de la G. E. C°. Ensemble des contacteurs.

Les figures 36, 37 et 38 représentent respectivement :
— un contrôleur de commande ;
— l'ensemble des contacteurs ;
— l'inverseur électromagnétique.

Digitized by Google

D. — Compresseurs d'air.

Le freinage continu à air est, ainsi que nous l'avons vu, indispensable sur le matériel moderne. Il importe, par suite, de réaliser cet air comprimé sous une pression moyenne variant ordinairement de 3,5 et 5,500 kg au moyen d'organes peu encombrants et de faible poids.

Le groupe motocompresseur est seul adopté sur le matériel récent.

Les groupes réalisés jusqu'à présent comportaient un moteur électrique du type série à vitesse élevée, généralement de l'ordre de

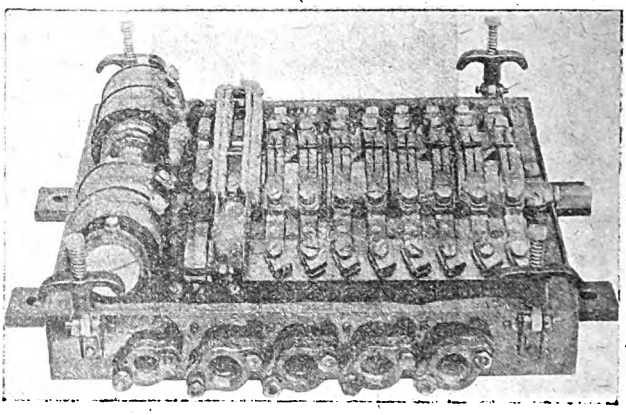


Fig. 38. — Equipement type M de la G. E. C. Inverseur de marche.

1 000 t/mn, afin de réduire le poids à une valeur acceptable et un compresseur à vitesse relativement lente 200 à 300 t/mn, les deux organes étant assemblés dans une même carcasse et réunis par un train d'engrenages réducteurs.

Cette disposition présente deux inconvénients :

1° en cas d'avarie à l'un des deux organes, l'autre se trouve immobilisé ;

2° la présence d'engrenages réducteurs nuit au bon rendement général.

Pour y remédier, la tendance est actuellement à la séparation de ces deux organes et à l'utilisation de compresseurs à grande vitesse, susceptibles d'être accouplés directement au moteur d'entraînement.

La S.T.C.R.P., a étudié et mis au point en 1923 un groupe motocompresseur à grande vitesse (1 100 t/mn) (fig. 39), dont sont munies actuellement toutes les voitures légères et même une certaine partie du matériel précédemment construit.

Digitized by Google

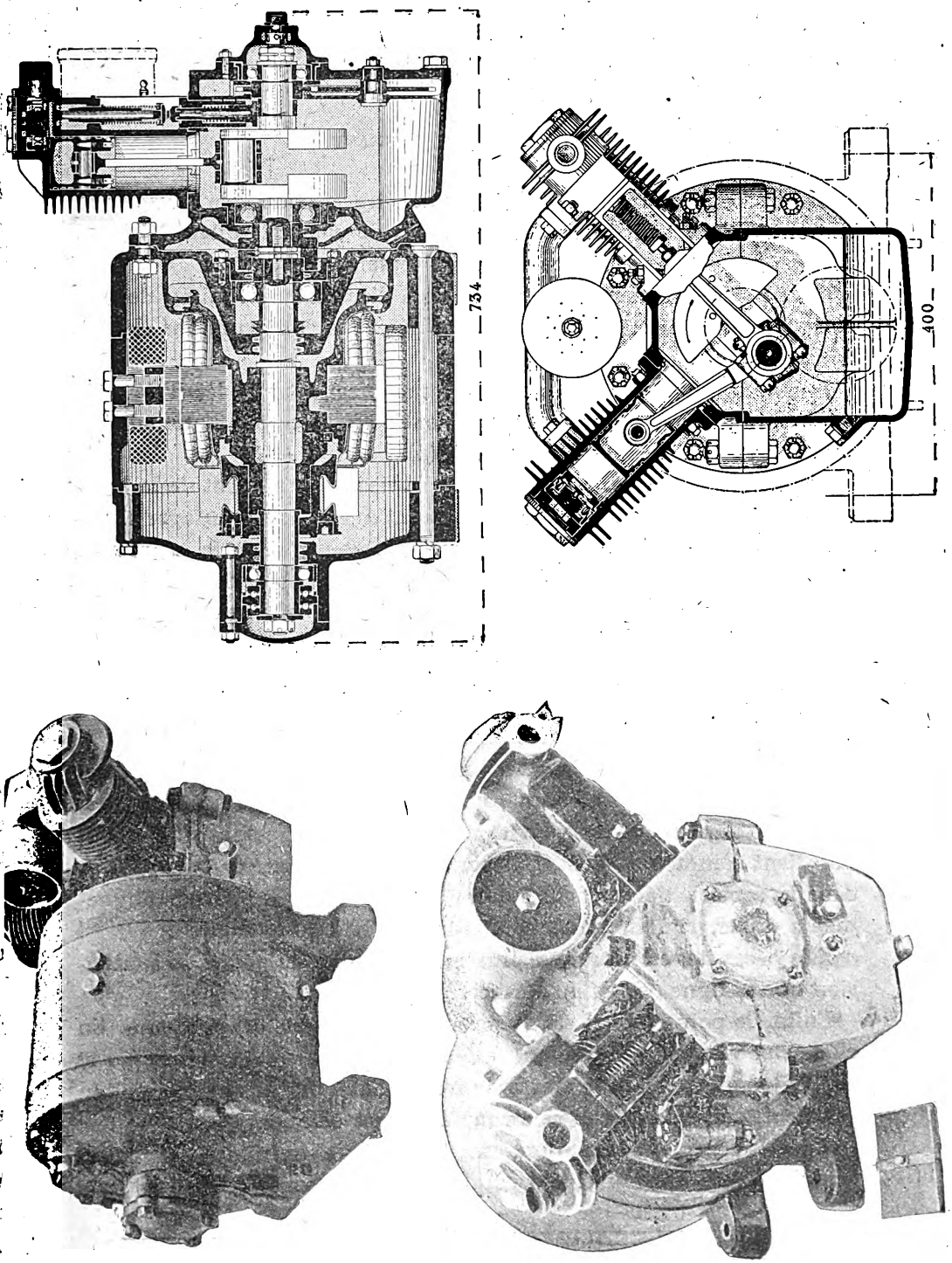


Fig. 39. — Compresseur à grande vitesse de la S. T. C. R. P.

Digitized by Google

Son poids ne dépasse pas 190 kg pour un volume engendré par les pistons de 520 dm^3 par minute contre 300 kg et 420 dm^3 pour le type précédent.

E. — Prises de courant.

En traction par tramway, il ne peut être question de collecter le courant par un troisième rail ; les prises de courant restent donc de deux sortes : prises aériennes et prises souterraines.

Ces dernières tendent de plus en plus à disparaître en raison des dépenses de premier établissement et des dépenses de réparations élevées auxquelles elles conduisent.

Prises de courant aériennes. — Je renverrai pour le détail de cette question au rapport documenté présenté au Congrès National des Tramways de 1925, par M. Castaing (1).

Les deux types de prises de courant utilisés dès le début de la traction électrique : l'archet et le trolley continuent de se partager la faveur des exploitants et conservent leurs défenseurs acharnés, le premier surtout en Suisse et en Allemagne (bien que dans ce dernier pays, des exploitations importantes, les tramways de Hambourg, en particulier, utilisent le trolley), le deuxième surtout en Amérique et en France.

La raison doit surtout être recherchée dans ce fait, que ni l'un ni l'autre type ne sont parfaits et que la prise de courant reste un point délicat de la traction par tramway.

Archet. — Cet organe permet une certaine simplicité dans l'établissement de la ligne aérienne, notamment par la suppression des organes d'aiguillage, mais cet avantage est plus apparent que réel si l'on tient compte des soins tout particuliers qu'il convient d'apporter dans la construction et dans l'entretien de la ligne : grands alignements droits, rigidité et horizontalité parfaites de la ligne.

Elle nécessite, en outre, un plus grand nombre de points de suspension que la ligne de trolley désaxée.

Enfin, le point capital est l'usure de la ligne et des frotteurs. En effet, aux vitesses relativement faibles adoptées pour les tramways et par suite aux coefficients élevés de frottements de glissement qui en résultent, correspond une usure rapide de ces deux organes.

L'antifriction, l'aluminium, le bronze d'aluminium, le laiton écroui, ont été successivement employés pour la construction des frot-

(1) Compte rendu dans l'*Industrie des Tramways* d'Avril 1926.

Digitized by Google

teurs avec ou sans utilisation de rainures garnies de pâte à la plombagine, mais sans succès.

Depuis peu, on utilise en Allemagne des frotteurs en graphite qui semblent, avec une durée supérieure, réduire l'usure de la ligne aérienne.

Quoi qu'il en soit, les T.C.R.P. ont pu procéder, lors du rachat par le département de la Seine du réseau du chemin de fer du Bois de Boulogne, à une expérience intéressante sur les voitures de ce réseau équipées avec archet.

Malgré tous les soins qui étaient apportés à l'entretien du matériel à archet, les incidents en exploitation de la ligne aérienne et de prise de courant étaient nombreux : 2,59 aux 10 000 km. Ils sont tombés à 0,046 lors du montage de la prise de courant par trolley.

Trolley. — La prise de courant par trolley avec base orientable doit avoir le dernier mot dans la lutte avec l'archet.

Bien que nécessitant des appareils spéciaux de ligne aérienne, aiguillages, croisements, etc... elle permet de grandes commodités d'installation de la ligne par les possibilités qu'elle offre de grands désaxements. En particulier, la réalisation des courbes est simple et ne nécessite que quelques points d'attache des fils tendeurs. Enfin, la ligne aérienne pouvant être rejetée sur le côté de la chaussée, est facile à dissimuler notamment sur les avenues plantées d'arbres.

J'examinerai rapidement les perfectionnements apportés aux différents organes constituant la prise par trolley, c'est-à-dire :

— la base fixée sur la toiture et supportant le tube de perche ;
— le tube de perche ;
— la tête de trolley proprement dite ;
— la roulette.

Bases. — En ce qui concerne les bases, les perfectionnements récents ont porté sur les points suivants :

1° mobilité suffisante autour du pivot, pour permettre à la perche de suivre facilement tous les désaxements de la ligne ;

2° facilités de réglage de la perche en hauteur et en tension ;

3° déclenchement automatique de la base après dérapement de la perche, provoquant l'abaissement de la roulette au-dessous du niveau du fil ;

4° constance de la pression de la roulette sur le fil pour les variations, habituelles en exploitation, de la hauteur de la ligne aérienne.

5° réaxement automatique de la perche après dérapement et maintien de la perche dans les limites du gabarit de la motrice.

Digitized by Google

La figure 40 représente la base (système DELACHAUX) dont sont dotées les motrices légères des T.C.R.P. et qui comportent tous les perfectionnements ci-dessus.

Tubes de perche. — En ce qui concerne les perches de trolley, dont la légèreté est une condition impérative pour diminuer l'importance

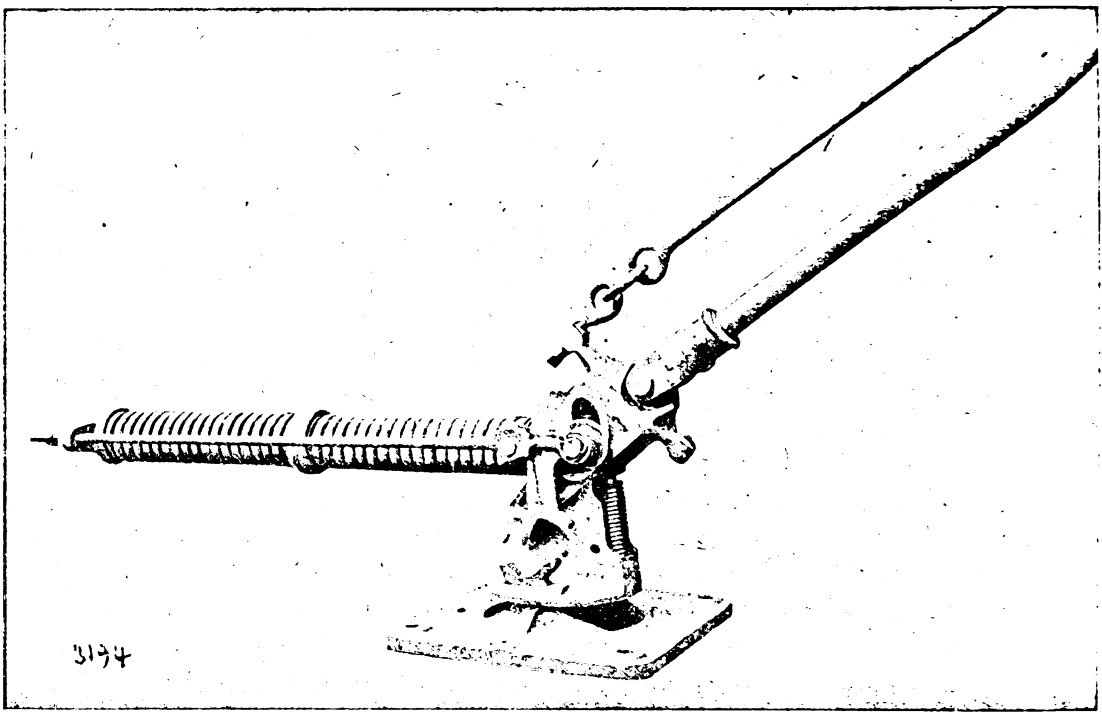


Fig. 40. — Base de trolley Delachaux à déclanchement et réaxement automatique.

des coups de fouet dans les dérapages, l'emploi de métaux légers a fait l'objet de nombreuses recherches.

Les Ingénieurs des tramways attendent beaucoup à ce sujet de la métallurgie des métaux légers.

Têtes de trolley. — En ce qui concerne les têtes de trolley, les progrès réalisés ont également eu trait à l'emploi d'alliages d'aluminium et de magnésium notamment et, d'autre part, à la recherche, pour ces organes, de formes fuyantes indispensables pour éviter, dans les deux sens de marche, l'accrochage des appareils de ligne aérienne.

Les organes de collection de courant proprement dits sont actuellement de deux sortes : la roulette, seule employée en France et le frotteur qui trouve encore un certain nombre de partisans en Angleterre et en Amérique.

Digitized by Google

Roulettes. — Les recherches nombreuses de ces dernières années ont porté d'une part sur l'allègement par l'emploi de métaux légers Duralmin, Almag, etc..., d'autre part, sur la réduction de l'usure par l'emploi de laitons estampés. Ces essais n'ont apporté d'une manière générale aucun perfectionnement et il semble bien que pour la collection du courant, le bronze reste le meilleur métal pour la roulette et le cuivre pour le fil de ligne aérienne. La durée d'une telle roulette, dans les meilleures conditions de forme de la gorge, est d'environ 8 500 km.

Frotteurs. — J'ai signalé qu'en Angleterre et surtout en Amérique, l'emploi de frotteurs avait encore de nombreux partisans.

Des essais entrepris à la S.T.C.R.P. avec frotteurs américains en acier poli spécial de la « Miller Trolley Shoe C° », ont permis de conclure à l'infériorité sur notre réseau — qui présente il est vrai de grands désaxements — des frotteurs par rapport aux roulettes. Le principal inconvénient était le faible kilométrage avant usure, 400 à 500 km, résultant, d'une part d'une perte rapide du poli de l'acier et, d'autre part, d'un important dépôt de cuivre dénotant une usure rapide la ligne aérienne.

Si l'on examine attentivement les résultats publiés dans les périodiques américains, on constate que l'intérêt des frotteurs est bien controversé dans ce pays.

Il semble donc — et la tendance actuelle américaine du retour à la roulette est de nature à le confirmer — que malgré les imperfections de ce dernier organe, il reste plus intéressant que le frotteur.

Prises de courant souterraines. — Je ne dirai que peu de choses des prises de courant souterraines, dont le fonctionnement est d'ailleurs satisfaisant et ne donne pas lieu, sur matériel moderne, à un nombre d'avaries supérieur à celui des avaries de prises de courant aérienne.

Les charrues constituées par un corps en bois supportant tout le mécanisme de prise de courant proprement dit, ont disparu en raison des mises à la masse sous l'influence de l'humidité et des projections de boue, et des étuvages prolongés qu'il était indispensable de réaliser fréquemment.

Les prises de courant modernes, telles que celles utilisées à la S.T.C.R.P., se composent de deux lames conductrices plates en acier manganosiliceux recouvertes d'une gaine en caoutchouc moulé portant à leur extrémité des sabots de contact en fonte.

Les lames sont serrées entre deux flasques métalliques munies, de chaque côté, d'un guide en acier cémenté d'une épaisseur légèrement

Digitized by Google

supérieure à celle du corps de la charrue, afin d'empêcher l'usure de ce dernier par suite du frottement sur les rails de rainure.

A sa partie supérieure, chaque flasque est munie d'une pièce rainurée suivant une section demi-circulaire, assurant la liaison du corps de charrue avec les plaques ressorts de la tête.

Châssis de relevage. — Le châssis de relevage (fig. 41), qui permet de manœuvrer la prise de courant, la guide à la montée comme à la descente et en verrouille la tête dans chacune de ces positions « haut » et « bas ».

E. — Circuits d'éclairage et de chauffage.

La simplicité étant la garantie essentielle de bon fonctionnement du matériel roulant de tramway, il importe de débarrasser les circuits

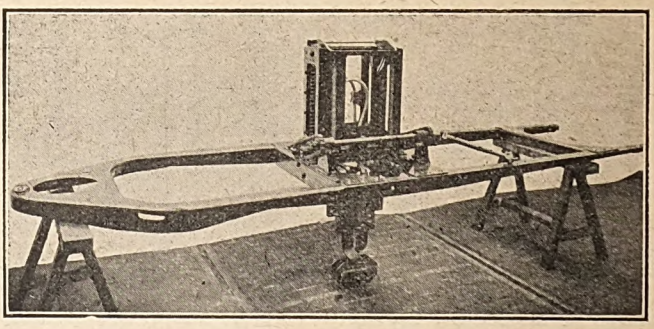


Fig. 41. — Motrice L de la S. T. C. R. P. Châssis de relevage de la charrue.

d'éclairage et de chauffage des nombreux organes imaginés par des constructeurs, certes très ingénieux, mais ignorants des exigences de la traction.

Les meilleurs résultats pour l'éclairage et le chauffage, sont presque toujours obtenus par les réalisations les plus simples, et il a suffi d'une manière générale de perfectioner les appareils anciens et surtout d'apporter pour ces derniers une meilleure disposition générale sur les voitures, pour obtenir des résultats plus que satisfaisants.

Circuit d'éclairage. — Je signale, à propos de dispositions générales meilleures, l'intérêt présenté par la suppression des lanterneaux et l'utilisation de toitures en anse de panier qui forment un excellent diffuseur.

Les lampes à filament de carbone, de consommation si onéreuse mais robustes, ont disparu ces dernières années, grâce à l'améliora-

Digitized by Google

tion générale des suspensions des voitures et aussi à la réalisation de lampes spéciales pour traction, à filaments métalliques peu tendus et supportés en de nombreux points par des antennes solides.

Une tension de 60 V environ, permet la réalisation de lampes robustes et de faibles consommation.

Il n'est pas rare, sur le réseau des T.C.R.P. pour lequel la durée moyenne des lampes est de 6 000 à 8 000 km, de trouver des lampes ayant parcouru 30 000 km, soit correspondant à une durée d'utilisation d'une année et cela malgré l'importance des vibrations et des surtensions accidentelles.

A ce dernier point de vue, signalons la tendance actuelle en Amérique du retour à l'emploi des résistances fer-hydrogène que nous avons connues du temps des lampes à filament de carbone.

Ces résistances utilisent la propriété particulière au fer entre 550°C et 850°C, de présenter un coefficient de température et par suite une résistance croissant très rapidement.

Il suffit, par suite, de placer une telle résistance en série avec le circuit des lampes pour obtenir une auto-régulation de l'intensité.

Circuit de chauffage. — Le chauffage est ordinairement assuré par un certain nombre de chaufferettes, disposées sous les pieds des voyageurs.

Les dispositifs type radiateur propageant la chaleur par l'air ambiant, sont insuffisants pour assurer un chauffage convenable en raison de l'ouverture et de la fermeture fréquentes des portes des compartiments.

Je signalerai toutefois les tentatives répétées ces dernières années dans les Pays de l'Europe Centrale, en Allemagne notamment, en vue de l'utilisation, comme radiateurs, des résistances de démarrage placées sous les banquettes des voyageurs.

En admettant que ce procédé soit efficace en hiver, surtout depuis la généralisation du freinage rhéostatique qui contribue de façon importante à l'échauffement des résistances, il semble qu'il puisse difficilement être toléré en été.

A mon avis, seul le chauffage par chaufferettes est confortable et efficace.

Les chaufferettes en service à la S.T.C.R.P., permettent de réaliser sur la plaque chauffante une température de 60°C, présentent un isolement de 1 mégohm et résistent sans claquage à l'application pendant 2 mn d'une tension alternative de 2 500 V entre fil et masse.

Elles satisfont, en outre, à l'essai d'étanchéité suivant : plongées

Digitized by Google

dans l'eau (en respectant les entrées de fil) et de l'air sous pression de 150 grammes/cm² étant introduit par ces entrées, aucun dégagement de bulles ne doit être constaté.

En dehors des nombreux dispositifs imaginés pour établir ou supprimer les circuits de chauffage, pour une température déterminée de l'air du compartiment et dont le fonctionnement est rendu inopérant par les vibrations des véhicules, et surtout par l'emplacement du dispositif à l'intérieur des compartiments, on a réalisé ces dernières années, en Amérique, des dispositifs permettant la suppression du chauffage pendant le démarrage, afin de réduire la pointe d'intensité à la sous-station. Ces dispositifs sont en général compliqués pour un matériel de tramways et doivent — pour être réellement utiles — affecter profondément le fonctionnement du chauffage, en raison des démarrages constants.

G. — Dispositifs spéciaux de freinage.

La recherche de la légèreté pour le matériel roulant peut, dans des cas très particuliers, conduire à certains inconvénients en ce qui concerne l'efficacité du freinage, par exemple dans le cas de trains formés d'une motrice et de un ou plusieurs attelages en déclivités de l'ordre de 8 à 10 pour cent.

Il peut être facilement remédié à l'insuffisance de poids adhérent, par l'emploi de freins électromagnétiques dont certains exemplaires construits ces dernières années donnent toute satisfaction.

Ces freins sont d'autant plus intéressants qu'ils accroissent de manière artificielle le poids adhérent, tout en permettant l'emploi simultané des autres freins et qu'ils peuvent, le cas échéant, être installés également sur les attelages, en consentant une certaine complication du câblage de ces derniers.

L'alimentation de l'électro, étant prévue ordinairement par la ligne d'alimentation, ou par une batterie spéciale d'accumulateurs, constituait une grave sujétion en raison des disjonctions toujours possibles aux sous-stations ou de fonctionnement défectueux de la batterie.

La généralisation du freinage rhéostatique permet une grande sécurité dans le fonctionnement de ces organes, par l'utilisation du courant débité par les moteurs pour l'alimentation des électros.

Des gammes de freinage très progressives ont pu être réalisées, en faisant débiter les moteurs sur l'ensemble de résistance de démar-

Digitized by Google

rage et des électros placés en série, puis en éliminant progressivement les résistances.

Je signale, pour terminer, la tendance à utiliser — notamment en Suisse — comme frein de secours sur certains réseaux présentant des déclivités très fortes, de l'ordre de 10 à 12 pour cent, des freins à patin en carborundum, ou mieux une combinaison de patins de frein au carborundum et de freins électromagnétiques.

Par l'usure importante qu'ils entraînent pour la voie, ces patins, dont l'action est extrêmement puissante, doivent être considérés exclusivement comme freins de secours.

CONCLUSION

Quel sera le type de tramway de l'avenir ?

Je me suis efforcé d'exposer, dans leurs grandes lignes, les tendances d'ensemble de la construction des tramways, puis l'évolution particulière de certains organes.

De ces tendances, de cette évolution, quel est le type caractéristique de véhicule qui paraît, dans un avenir relativement proche, devoir se dégager et connaître le plus grand nombre d'applications ?

En premier lieu, il semble que l'idée directrice présidant à la conception du nouveau matériel doive demeurer encore la réduction du poids par place offerte, et surtout la réduction du poids non suspendu élastiquement. Les avantages à escompter d'un matériel léger : diminution de la consommation de courant, des frais d'entretien du véhicule et de la voie, des frais d'établissement du matériel, entre autres, sont d'une importance telle qu'elle justifie amplement la création de types nouveaux ou l'extension de modèles les plus récents. L'évolution signalés vers le tramway léger, s'accentuera donc vraisemblablement encore.

Le type de tramway de l'avenir paraît devoir découler des modèles récents réalisés dans divers pays et dont je vous ai entretenus. Je pense que la supression du truck et du bogie sera consacrée par la pratique des années à venir.

Je vois le type le plus répandu des futurs tramways sans truck, à grand empattement rigide, avec moteur entièrement suspendu élastiquement et transmission genre automobile.

Il est peu probable que l'on change de sitôt, dans ses principes, le

Digitized by Google

moteur électrique, qui sera longtemps encore du type série, avec shuntage des inducteurs.

Peut-être verra-ton la réalisation de moteurs compound genre Schwend, permettant la récupération. Mais on appliquera de plus en plus le moteur auto-ventilé à grande vitesse.

En ce qui concerne la partie purement mécanique du véhicule, les applications de l'embouti pour la constitution du châssis se répandront et il est possible que l'on aboutisse à la standardisation de certaines pièces.

J'ai indiqué que la transmission procéderait du type automobile. D'une façon plus générale, je pense que le tramway de demain s'inspirera entièrement de la construction automobile et bénéficiera des progrès de celle-ci. Les freins sur tambour, qu'ils soient montés sur l'arbre de transmission, sur les essieux, ou sur les roues, à action énergique et à réglage facile, constituent en particulier un des organes dont l'utilisation paraît devoir s'étendre de plus en plus.

En ce qui concerne la capacité des véhicules, je pense que, dans les grandes agglomérations, l'époque des grands véhicules est passée, et que, pour les trafics urbains ou suburbains desservant la banlieue immédiate, une capacité de l'ordre de 50 places connaîtra des applications de plus en plus étendues. Cette capacité permettra d'adapter de manière aussi exacte que possible le nombre des places offertes aux nécessités du trafic, par l'emploi étendu de véhicules à un seul agent fonctionnant seuls, avec attelages réversibles ou non, ou sous la forme de rames à unités multiples. Le tramway possèdera ainsi la souplesse désirable pour assurer, économiquement, et dans les conditions optima, les exploitations urbaines ou suburbaines desservant la banlieue immédiate caractérisées par une variation considérable, au cours de la journée, du nombre horaire des voyageurs à transporter.

NOTE

communiquée par M. ANDROUIN,

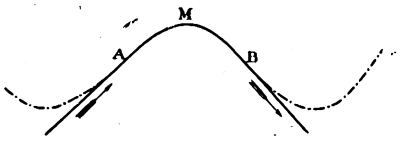
Ingénieur conseil.

La perturbation dont les voyageurs ressentent les effets à l'entrée en courbe provient d'une part de ce que les boudins des roues, qui ont du jeu dans les gorges des rails, viennent frapper le bord de ces gorges du côté de la convexité de la courbe, et surtout de ce que les courbes em-

Digitized by Google

ployées imposent *instantanément* aux masses en mouvement une accélération centripète, qui peut être en pratique de plusieurs dizaines de cm/sec par seconde.

Dans un ordre d'idées différent, j'ai eu à traiter une question analogue ; il s'agissait de mobiles de quelques dizaines de grammes appartenant à des machines à mouvements très rapides et auxquels il



fallait imposer, en un temps très court, un changement de direction. J'ai obtenu des résultats satisfaisants en employant le raccordement sinusoïdal, dont le croquis ci-contre explique suffisamment le principe.

La courbure de l'arc AMB est nulle en A, passe par son maximum en M et redevient nulle en B. La variation étant continue, il n'y a aucun changement brusque d'accélération centripète.

Je crois que l'application de cette idée aux raccordements de voies ferrées (suivant une technique à mettre au point) donnerait des résultats également satisfaisants.

Digitized by Google

INFORMATIONS
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

1° Principales décisions du Comité en juin.

Le 18 juin, le Comité réuni dans les bâtiments de la nouvelle Ecole, a adopté les mesures financières nécessaires pour assurer leur aménagement avant la rentrée d'octobre 1927.

Dans cette même séance, il a décidé d'attribuer le legs Ancel à MM. Decaux, Fournier et Fromy.

2° Réunions du Conseil d'Administration et de l'Assemblée Générale de la Société pour favoriser le développement du Haut Enseignement de l'Electrotechnique en France.

Le 17 mai, le Conseil de la Société Nouvelle a, conformément aux pouvoirs qui lui sont attribués par les Statuts, décidé de porter le capital à 7 500 000 francs par l'appel d'un nouveau versement de 2 500 000 francs.

L'Assemblée générale s'est réunie le 14 juin, dans les nouveaux locaux de l'Ecole et a approuvé les comptes qui lui ont été présentés.

3° Remise de la médaille Mascart a Sir J. J. Thomson.

Le vendredi 3 juin, à la Sorbonne, la Médaille Mascart a été remise, par notre Président, M. Fabry, à l'illustre physicien anglais Sir J. J. Thomson.

La veille, un dîner réunissait un certain nombre de membres de notre Société, de la Société de Physique et d'Amis de la T. S. F., pour fêter à leur arrivée à Paris, Sir J. J. Thomson et Lady Thomson.

Le 3 juin, après la remise de la Médaille, Sir J. J. Thomson fit une conférence du plus haut intérêt sur ses plus récents travaux.

Cette conférence sera reproduite in extenso dans une plaquette qui paraîtra prochainement.

Digitized by Google

TRAVAUX DES SECTIONS [1]

SOMMAIRE

1re Section. — Signification physique de la tension de réactance dans les machines à champ tournant, par M. Le Monnier, p. 709. — Observations de M. Rieunier, p. 717. — Méthode simplifiée de calcul des caractéristiques à vide des machines à pôles saillants, par M. de Pistoye, p. 717

2e Section. — Les nouveaux résultats obtenus dans la construction des tubes à gaz rares, par M. Abadie, p. 717. — Résultats du concours des appareils de chauffe-eau par accumulation, par M. Sartre, p 717.

4e Section. — Les postes électriques d'aiguillage, par M. Courel, p. 717.

1re SECTION. — PRODUCTION

Présidence de M. P. Girault

Séance du 4 mai 1927. — *Signification physique de la tension de réactance dans les machines à champ tournant*, par M. Le Monnier.

La principale imperfection des machines à champ tournant — machines asynchrones ou machines à courants polyphasés — est celle que l'on fait figurer dans les diagrammes représentatifs du fonctionnement, sous le nom de tension de réactance.

Pour expliquer divers phénomènes que l'on observe sur ces machines, tels que la limitation du couple et l'abaissement du facteur de puissance en charge des réceptrices, ou la chute de tension en charge des génératrices, on a été amené à admettre l'existence de flux de fuite qui, émis en même temps que le flux utile par l'un des enroulements, n'atteindraient pas l'autre enroulement ; ce sont ces flux de fuite qui donneraient naissance à la tension de réactance. Les diagrammes représentatifs du fonctionnement, quelle que soit leur forme, reposent sur cette conception, et donnent une image, en général assez fidèle, des caractéristiques résultante du fonctionnement en charge de ces chines.

---

(1) Tout membre de la Société française des Electriciens peut, en adressant une demande au Délégué général, 14, rue de Stael, être convoqué aux séances des sections.

Digitized by Google

Cette hypothèse, et les procédés de calcul qui en sont inspirés, ont permis de résoudre avec une première approximation, assez satisfaisante, la plupart des problèmes les plus simples qui se posent, quand on veut analyser le fonctionnement des machines de ce genre, mais on a dû reconnaître à l'usage que, dans bien des cas, cette théorie devenait insuffisante.

On se propose, après avoir rappelé quelques-uns des cas où la théorie des fuites est en défaut, de montrer que l'on peut concevoir une autre origine (1) de la tension de réactance, et d'exposer ensuite quelques-unes des conclusions intéressantes que l'on peut tirer de cette nouvelle conception.

Courant de court-circuit instantané des génératrices synchrones.

On sait que, si l'on met brusquement en court-circuit un alternateur polyphasé fonctionnant à sa tension normale sous une charge quelconque, le courant induit ne s'établit pas instantanémsnt à la valeur que l'on relèverait sur cet alternateur en court-circuit en état de régime pour le même courant d'excitation. *Le courant de court-circuit instantané est beaucoup plus élevé que le courant de court-circuit permanent.* Pour expliquer cette différence, on a admis qu'il fallait distinguer une réactance de fuites totales ramenée à l'induit, et une réactance de fuites propres à l'induit, cette dernière seule entrante en jeu instantanément lors du court-circuit. A l'usage, on constate que cette distinction, satisfaisante en apparence, n'apporte pas en réalité de solution au problème posé, car les deux systèmes de fuites ne sont pas définis de façon assez précise, et sont, par suite, pratiquement inaccessibles à toute détermination.

L'étude du court-circuit instantané des génératrices fournit donc un premier exemple de l'insuffisance des explications admises. Les phénènes de rampage des moteurs asychrones en fournissent un second qui permet, en outre, d'entrevoir une explication nouvelle.

Rampage des moteurs asynchrones.

On sait que, lors du démarrage d'un moteur asynchrone en court-circuit, c'est-à-dire pour un appel de courant très élevé, on peut, sur certains moteurs, observer l'existence de régimes de vitesses stables

(1) Cette explication a déjà été envisagée par différents auteurs mais il ne semble pas qu'elle ait été jusqu'ici complètement exploitée.

Digitized by Google

très inférieures à la vitesse normale de synchronisme. La théorie des fuites ne permet pas d'expliquer ces phénomènes ; il faut, pour comprendre ce qui se passe alors dans le fonctionnement du moteur, prendre en considération un genre d'imperfection que l'on néglige *sciemment* dans la théorie ordinaire des machines polyphasées : l'influence de la nature du champ magnétique produit par l'induit.

Nature du champ de réaction d'induit.

Alors que l'on attache une importance extrême et peut-être excessive à la pureté des champs inducteurs et de la f. é. m. à vide des alternateurs, on admet que les champs de réaction d'induit sont sinusoïdaux, et l'on néglige l'influence des impuretés de ces champs qui ne se traduisent pas de façon visible sur le relevé oscillographique de la tension aux bornes. Or, une machine à champ tournant peut fonctionner sur un réseau alimenté par une source très puissante, de sorte que la tension aux bornes de cette machine reste une sinusoïde pratiquement pure sans que le champ de réaction d'induit tournant dans le stator ait lui-même l'allure d'une sinusoïde pratiquement pure.

Les courants polyphasés parcourant l'enroulement stator ne produisent pas un champ tournant sinusoïdal, mais la fonction périodique qui représente ce champ est équivalente à la somme d'une fonction sinusoïdale et d'harmoniques d'ordre supérieur de cette fonction. On pourra se représenter le champ de réaction d'induit de la façon suivante : A un champ fondamental tournant à la vitesse du rotor viennent se superposer des harmoniques d'ordre supérieur et d'importance variable suivant la construction de la machine. Tous ces champs, fondamental comme harmoniques, produisent des *f.é.m.* de même fréquence, qui viennent s'ajouter algébriquement pour constituer la majeure partie de la force contre-électromotrice totale qui fait équilibre à la tension U.

On a alors l'image suivante du fonctionnement dans le cas particulier simple d'un moteur synchrone à deux pôles surexcité ne transmettant pas de puissance mécanique par son arbre :

— D'une part, un champ inducteur bipolaire tournant à la fréquence *f*.

— D'autre part, un champ fondamental bipolaire dû au bobinage induit et tournant dans le même sens que le précédent à la même fréquence ; ce champ se compose avec le premier pour donner naissance dans le bobinage induit à la *f. é. m.*

Digitized by Google

— En troisième lieu, un champ tournant de même polarité que les précédents correspondant aux flux de fuite du bobinage stator par rapport au bobinage rotor. Ce champ induit dans le bobinage stator donne une *f. é. m.* (V_1) dont la valeur absolue varie sensiblement comme le courant induit si le circuit de fuite n'est pas saturé, ce qui est en général réalisé.

— Enfin, une série de couronnes polaires à 2 K pôles tournant respectivement à des vitesses $\frac{f}{K}$ tours par seconde et induisant chacune dans l'enroulement induit une *f. é. m.* de fréquence *f.* Ces *f. é. m.*, et par suite leur somme (V_2) sont les mêmes, que le courant soit décalé en avant ou en arrière. Elles sont proportionnelles à la fréquence ; elles varient en fonction du courant induit suivant une loi rappelant une courbe de magnétisme.

Pour le courant induit I la somme des *f.é.m.* ($V_1 + V_2$), l'une due aux flux de fuite, l'autre à la présence des couronnes polaires envisagées ci-dessus, constitue la tension de réactance, différence entre la tension U et la *f. é. m.*

Ce mode de représentation permet d'expliquer tous les phénomènes observés dans le fonctionnement des machines à champ tournant.

Tout d'abord, la vraisemblance de l'hypothèse faite est confirmée par l'observation des phénomènes de rampage des moteurs asynchrones : l'existence des couronnes polaires que l'on a envisagée est en effet rendue tangible par ces phénomènes, car on constate que les vitesses de rampage sont, au glissement près, voisines de la vitesse de synchronisme du moteur à 2 K *p* pôles, K étant un nombre entier et 2 *p*, le nombre de pôles du moteur.

Si l'on examine à nouveau le cas du courant de court-circuit instantané, on s'aperçoit que la distinction à faire entre les divers éléments de la tension de réactance est évidente ; on conçoit que les flux de fuite subsistent pendant la période troublée qui règne entre le commencement du court-circuit et l'établissement de l'état de régime, mais pour cette période troublée, le champ de réaction n'est plus une fonction périodique que l'on puisse représenter par un champ fondamental et son cortège d'harmoniques.

Pour l'étude du courant du court-circuit instantané, on doit donc tenir compte de la tension de réactance partielle V_1, mais l'on ne peut faire entrer en ligne de compte la tension de réactance partielle V_2 due aux harmoniques de champ que l'on ne peut envisager qu'en état de régime.

Digitized by Google

Cette conception permet d'ailleurs d'aborder l'étude d'autres questions telles que celles des pertes supplémentaires.

Pertes supplémentaires.

On convient de désigner sous le nom de pertes supplémentaires l'ensemble des pertes autres que les pertes par effet Joule qui prennent naissance dans la machine du fait de la charge ; ces pertes, qui sont difficilement accessibles aux mesures, sont de deux sortes :
— Celles qui ont leur siège dans le cuivre des enroulements ;
— Et celles qui ont leur siège dans le fer du circuit magnétique.

Ce sont ces dernières seulement dont nous nous proposons de rechercher l'origine. Elles prennent quelque importance, même dans les machines de petite puissance, dans lesquelles les conducteurs sont, naturellement, de section assez faible pour que les pertes de la première catégorie ne puissent s'y développer.

Dans le fonctionnement en charge de la machine synchrone, précédemment envisagée, on a été conduit à admettre l'existence d'une série de couronnes polaires à $2\,K\,p$ pôles qui balayent le stator à la fréquence f et le rotor lorsqu'il est au synchronisme à des fréquences égales respectivement à $(K + l) \times f$, qui peuvent donc atteindre des valeurs très élevées.

Il est évident que le déplacement de ces couronnes polaires donne naissance à des pertes par hystérésis et courants de Foucault dans le circuit magnétique de la machine. Ces pertes seront les mêmes pour une même valeur du courant, que celui-ci soit décalé en avant ou en arrière sur la tension ; on conçoit, en outre qu'elles seront les mêmes quel que soit le décalage du champ tournant de réaction d'induit par rapport au rotor, surtout dans les machines à perméabilité sensiblement constante tout le long de l'entrefer, telles que les machines asynchrones ou asynchrones synchronisées... On s'explique donc que pour ces machines, les pertes en court-circuit soient les mêmes que les pertes en charge, sous une tension quelconque, pour une même valeur du courant, quelle que soit d'ailleurs la nature de cette charge (active ou réactive), ainsi qu'on a pu le constater lors de vérifications récentes par divers procédés expérimentaux.

Cette explication des causes des pertes supplémentaires permet d'apprécier la valeur de certains essais qui ont été préconisés pour la détermination de ces pertes tels, par exemple, que l'essai du stator seul constituant l'induit après enlèvement du rotor.

Digitized by Google

Sans revenir sur la question de sécurité des mesures de puissance qui sont alors faites dans des conditions très précaires, en raison de la faible valeur du facteur de puissance, et sans discuter la valeur de la méthode, en ce qui concerne les pertes dans le cuivre, qui sont vraisemblablement les mêmes dans cet essai et lors du fonctionnement normal en charge, nous ne considérerons que la valeur relative des pertes magnétiques supplémentaires dans ces deux modes de fonctionnement. La constitution du circuit magnétique est foncièrement différente dans les deux cas, de sorte que non seulement, pour un même courant, c'est-à-dire pour un même champ, le flux et, par suite, les tensions de réactance sont profondément modifiés, mais encore *par suite de la suppression du rotor, toutes les pertes dont cet organe est le siège disparaissent.* Il est donc de toute évidence que l'essai du stator seul n'a aucune valeur à ce point de vue.

Cette conception de la nature des imperfections des machines à champ tournant est féconde au point de vue des applications, car elle permet d'apprécier plus sainement les améliorations qu'il faut apporter à la construction de ces machines pour remédier à ces imperfections ou même les éviter complètement.

Nous allons voir tout d'abord comment il faut se garder de certains perfectionnements dangereux. On a placé au premier rang des préoccupations des constructeurs la nécessité d'établir des alternateurs ayant une courbe de tension aussi pure que possible ; pour atteindre ce but, on a préconisé, en particulier, l'emploi de nombres impairs d'encoches par phase et par paire de pôles. On a, en procédant ainsi, en des points identiquement placés sous deux arcs polaires consécutifs, d'une part une encoche, et d'autre part une dent ; les effets de la denture sous ces deux arcs polaires se neutralisent, et l'on obtient ainsi une courbe de tension relativement pure à peu près exempte d'harmoniques de denture. Mais, si l'on examine ce qui se passe en charge, on constate que le champ de réaction d'induit n'est plus constitué par deux 1/2 périodes identiques, c'est-à-dire que l'on introduit par ce procédé des harmoniques d'ordre pair qui ne peuvent avoir qu'une influence nuisible. L'expérience montre d'ailleurs que les machines ainsi construites font presque toujours entendre un son musical qui va en augmentant très nettement en intensité avec la charge, comme si la présence des harmoniques paires du champ de réaction se manifestait par un sifflement particulier ; on peut être assuré que la présence de ces harmoniques, décélées d'ailleurs par ce sifflement, ne va pas sans pertes supplémentaires, de sorte que

Digitized by Google

l'avantage, ainsi obtenu, pour réaliser une courbe de tension à vide pure, est largement compensé par les phénomènes parasites qui se manifestent en charge.

Comparaison entre les divers types de machines à champ tournant

Les machines synchrones fonctionnent en général à des inductions dans l'entrefer nettement plus élevées que les machines asynchrones, c'est-à-dire qu'à dimensions égales du pôle, le flux est plus grand dans la machine synchrone. Ces caractéristiques essentielles de ces deux types de machines ont été imposées par l'expérience, d'une part pour réaliser des alternateurs n'ayant pas une chute de tension trop élevée, et des moteurs synchrones ayant un couple maximum suffisant, et d'autre part pour relever le facteur de puissance des moteurs asynchrones. Il en résulte que les profils de la zone active (c'est-à-dire la zone où sont logés les bobinages) sont essentiellement différents dans ces deux types de machines ; la machine asynchrone a une denture beaucoup plus grèle que la machine synchrone ; en outre, le champ de réaction est beaucoup plus grand dans le moteur asynchrone que dans le moteur synchrone, et par suite aussi la valeur des harmoniques de polarité supérieure. On s'explique donc aisément que les pertes supplémentaires soient beaucoup plus grandes dans le moteur asynchrone que dans le moteur synchrone, ainsi qu'on le constate par le relevé des pertes en court-circuit sur ces deux types de machines.

Comparons ensuite les deux types usuels de machines synchrones ; le moteur synchone à pôles saillants et le moteur synchrone à inducteur lisse ou moteur asynchrone synchronisé. Les stators en sont identiques et par suite aussi les champs de réaction d'induit, de sorte que les tensions de réactance dues aux harmoniques et les pertes supplémentaires doivent être sensiblement les mêmes. Par contre, le régime des fuites de l'induit, par rapport au bobinage inducteur, est essentiellement différent ; les flux de fuite sont beaucoup plus grands dans la machine à pôles saillants que dans la machine asynchrone synchronisée, où ils sont très faibles comme dans le moteur asynchrone ordinaire, c'est ce qui explique que la tension de réactance totale soit, dans le moteur asynchrone synchronisé, très inférieure à la tension de réactance totale du moteur synchrone à pôles saillants utilisant le même stator. L'expérience montre, en effet, que la tension de réactance totale d'une machine asynchrone synchronisée est com-

Digitized by Google

prise entre le tiers et la moitié de la tension de réactance totale de la machine synchrone à pôles saillants constitués avec le même stator pour des valeurs identiques du courant et de la fréquence.

En dehors donc des raisons d'exploitation qui conduisent à l'employer — démarrage facile si on le compare aux moteurs synchrones, consommation négative de courant réactif si on le compare aux moteurs asynchrones — *le moteur asynchrone synchronisé est, par sa constitution même, le moins imparfait des moteurs à champ tournant.*

Comparaison entre les différents modes de distribution en courants polyphasés.

On sait qu'un même moteur, suivant qu'il est bobiné pour être utilisé sur courants diphasés ou sur courants triphasés, a des caractéristiques différentes : moins intéressantes dans le premier cas que dans le second. Son facteur de puissance et son rendement vrais sont, à puissance égale — surtout à pleine charge et en surcharge — légèrement plus faibles, son couple maximum est moindre. Ces différences sont faciles à expliquer si l'on remarque que, dans le champ de réaction d'un moteur triphasé, toute la famille des harmoniques 3 se trouve naturellement éliminée, tandis qu'elle subsiste en général dans le moteur diphasé.

Les installations en courants diphasés constituent donc, au moins en ce qui concerne la production de l'énergie mécanique, un mode de distribution inférieur qui doit céder la place à la distribution par courants triphasés.

Conclusion :

Cette double conception des origines de la tension de réactance est donc très séduisante par la souplesse avec laquelle elle se prête à expliquer les particularités de fonctionnement des machines à champ tournant.

Il faut reconnaître, il est vrai, que l'on se heurte dans son application à des difficultés de calcul, parfois graves, provenant, probablement, de ce que l'on connait mal le champ tournant à analyser, et peut-être aussi de ce que ce champ tournant, non seulement n'a pas l'allure d'une sinusoïde pure, mais encore, ne reste pas semblable à lui-même dans le temps tout le long de l'arc polaire.

Les indications « qualitatives » que l'on peut tirer de prime abord de cette doctrine sont cependant assez précieuses pour que l'on ne

Digitized by Google

s'arrête pas à ces difficultés d'application, et que l'on cherche, au contraire, à les surmonter par des études plus approfondies du champ magnétique dans la machine, qui est le facteur essentiel de son fonctionnement.

M. de PISTOYE fait ressortir l'intérêt que présente cette théorie en particulier pour le calcul des fuites par têtes de dents des moteurs asynchrones, calcul qui ne peut s'effectuer d'une manière satisfaisante que par des considérations d'harmoniques et des développements en série de FOURIER.

A propos de la partie de l'étude de M. LE MONNIER qui concerne les machines diphasées, M. RIEUNIER expose l'état des installations diphasées dans la région parisienne.

Il insiste sur les considérations économiques qui ont empêché l'unification de la forme du courant et ont amené les distributeurs à conserver la forme diphasée sur les réseaux où elle existait déjà.

Il indique les raisons économiques qui, par contre, ont permis de réaliser l'unification de la fréquence.

Méthode simplifiée de calcul des caractéristiques à vide des machines à pôles saillants. — M. de PISTOYE expose de nouvelles méthodes de calcul pour la prédétermination des caractéristiques à vide des machines à pôles saillants, méthodes publiées par lui dans la R. G. E. du 24 octobre 1925.

2e SECTION. — ÉCLAIRAGE ET CHAUFFAGE

Présidence de M. LEBLANC

SÉANCE DU 24 MAI 1927. — M. ABADIE présente sur *les nouveaux résultats obtenus dans la construction des tubes à gaz rares*, une communication qui sera présentée ultérieurement en séance publique.

M. SARTRE résume les *résultats du concours des appareils de chauffe eau par accumulation* dont le compte rendu a été publié dans la R. G. E. du 23 avril 1927.

4e SECTION
CANALISATIONS. DISTRIBUTION GÉNÉRALE. — TRACTION

Présidence de M. PÉRIDIER

SÉANCE DU 23 MAI 1927. — *Les postes électriques d'aiguillage*, par M. COUREL, des Ateliers de constructions mécaniques « l'Aster ».

Digitized by Google

Avant de parler des postes électriques d'aiguillages, M. COUREL rappelle la communication précédente de M. LALOY, et fait remarquer que l'espacement des trains sans circuits de voie continus trouve encore fréquemment son application, en particulier dans les gares.

Un moyen d'utiliser des circuits de voie non continus, consiste à créer deux parties de voies isolées, l'une à l'entrée, l'autre à la sortie de la section. Ces circuits de voie réduits désexcitent des relais actionnant chacun un encliquetage. Les deux encliquetages correspondant à l'entrée et à la sortie de la section, sont liés entre eux par un simple contact qui n'est fermé que lorsqu'ils sont en regard, c'est-à-dire quand la section est libre.

Ce procédé constitue un moyen de compter les passages sur la section, chaque fonctionnement du relais d'entrée déplaçant son encliquetage d'un angle constant et de même, dans le même sens, chaque

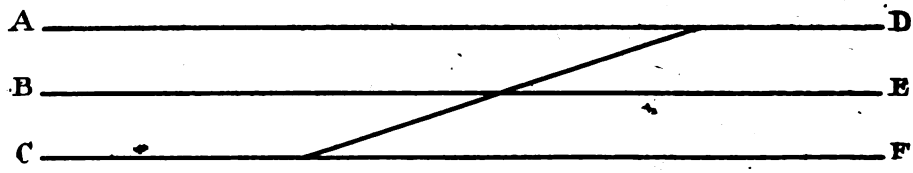


Fig. 1.

fonctionnement du relais de sortie. Grâce à ce dispositif, l'appareil ne revient à sa position initiale que lorsqu'il est sorti un nombre de trains égal à celui des trains entrés.

En venant aux postes, M. COUREL expose que, au début de l'exploitation des chemins de fer, les aiguilles et les signaux étaient commandés à la main par des agents se déplaçant le long des voies. Ce n'est que plus tard que les commandes ont été groupées dans des postes de concentration ; les aiguillages se commandèrent par tringles et les signaux par câbles funiculaires; la nécessité de la sécurité se faisant sentir, les premiers enclenchements ont été réalisés vers 1855.

Mais ces manœuvres imposant au personnel des efforts physiques très pénibles, on songea à substituer à l'effort humain celui produit par un fluide ; c'est ainsi que les « postes à pouvoir » furent créés. On utilisa successivement l'eau, l'air comprimé, le gaz carbonique, l'électricité, etc... Les manœuvres étant rendues plus faciles, vinrent ensuite les postes à leviers multiples formant deux groupes principaux : les leviers trajecteurs et les leviers d'itinéraire.

Dans un réseau normal fig. 1 dont les postes sont équipés avec le-

Digitized by Google

viers trajecteurs A, B, C sont des leviers d'entrée, D. E, F, des leviers de sortie, et il faut manœuvrer deux leviers, un d'entrée, un de sortie, par itinéraire.

Par contre, ce poste équipé avec leviers d'itinéraire comporterait les leviers AD, AE, AF, BD, etc... D'une façon générale, si le réseau comprend m voies d'entrée et n voies de sortie, un poste équipé avec leviers trajecteurs comprend $m + n$ leviers, alors que, s'il est équipé avec leviers d'itinéraire, il comprend $m \times n$ leviers.

Le choix de l'un de ces deux types de poste a naturellement soulevé bon nombre de discussions, la question étant de savoir s'il faut disposer moins de leviers, quitte à demander à l'aiguilleur plus de manœuvres (leviers trajecteurs), ou de disposer plus de leviers, demandant moins de manœuvres à l'aiguilleur (leviers d'itinéraires). Pratiquement, on en est arrivé à considérer le levier multiple comme un moyen simple de manœuvrer simultanément des aiguilles et des signaux groupés et, dans un même poste, les itinéraires peu fréquentés comportent deux leviers (trajecteurs), tandis que les itinéraires de passage très fréquentés comportent un seul levier.

Bien que l'application de l'électricité simplifie notablement les manœuvres dans les postes à pouvoir, les Compagnies de chemins de fer ont longtemps hésité avant son adoption. Actuellement, l'électricité s'est à peu près partout imposée et intervient, pour l'effort à produire dans la manœuvre, dans les enclenchements et le contrôle.

Comme dans le block, les postes électriques de commande d'aiguillages doivent satisfaire à deux conditions essentielles :

1° tout incident doit provoquer la fermeture des signaux ;

2° le fonctionnement doit être aussi régulier que possible.

Ces conditions rendent, dans la pratique la solution du problème très difficile, et conduisent à certaines conceptions toutes spéciales.

A titre d'indication, M. Courel signale que la Société l'Aster a déjà équipé 40 postes électriques, dans lesquels on compte actuellement 80 millions de manœuvres environ de leviers correspondant à plus de 200 millions de manœuvres d'aiguillages et de signaux, et qu'actuellement on n'a pas encore eu à enregistrer un seul incident contraire à la sécurité, le nombre des incidents étant de l'ordre de 1 par poste et par mois.

Le fait que les postes de commande sont occupés par du personnel fait grâce auquel la durée des incidents est réduite au strict minimum, conduit à un certain nombre de principes distincts de ceux qui régissent le block automatique :

Digitized by Google

Dans la commande des appareils des postes, il y a lieu de mettre en œuvre une certaine puissance ; c'est pourquoi le courant électrique y est utilisé sous une tension nettement plus élevée (110 volts en général) que dans les circuits de voie et contrairement aux installations de circuits de voie, l'isolement des circuits et des appareils a plus d'importance que leur conductibilité ; cet isolement ne porte dans le système Aster que sur un seul conducteur de chacun des circuits, ceux-ci ayant un retour commun par la terre. La moindre défectuosité se manifeste alors par la rupture d'un fusible, décelant et localisant immédiatement le défaut. De la sorte, on évite les coïncidences susceptibles de provoquer des incidents graves.

Dans les postes à aiguillage à commande électrique, on accroît la

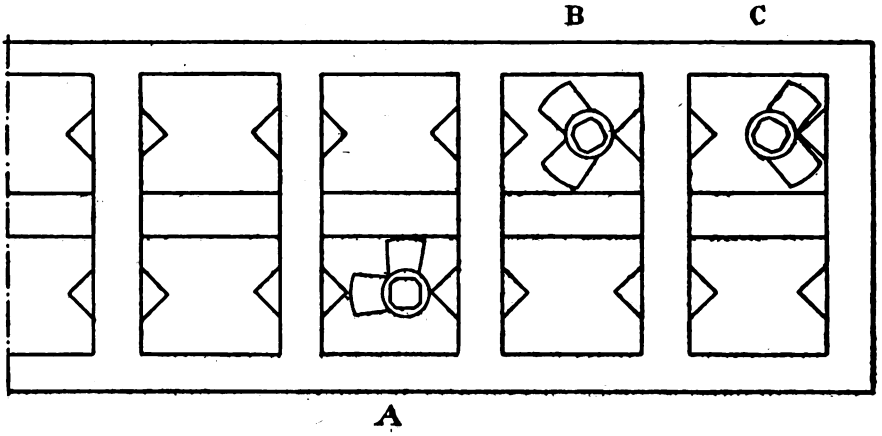


Fig 2.

sécurité en appliquant l'automaticité le moins possible et en commandant mécaniquement tout ce qui peut l'être, réduisant ainsi d'ailleurs l'entretien au minimum.

Les enclenchements mécaniques peuvent être conçus de façons très différentes. M. Courel se borne à décrire le type de poste établi par la Société l'Aster. L'âme même de toutes les manœuvres à effectuer est le combinateur sur lequel se rangent tous les leviers d'itinéraire manœuvrés par les aiguilleurs. Les leviers actionnent des arbres à came qui combinent entre eux les éléments des itinéraires en les déplaçant et en les enclenchant, d'où il résulte deux fonctions : et l'itinéraire et l'aiguille. Ces deux fonctions sont matérialisées de la façon suivante :

Des plans verticaux, parallèles entre eux, formés par assemblages rigides, constituent des cases évidées identiques et munies de taquets (fig. 2). Dans ces cases, tournent autour de leur axe, des arbres munis

Digitized by Google

de cames, liés aux leviers par une crémaillère : ces arbres actionnent également un second arbre à cames qui donne les contacts électriques que comporte l'itinéraire et ceux des signaux.

Les plans verticaux placés parallèlement entre eux sont appelés plans d'aiguilles et sont déplacés à droite ou à gauche par les cames que porte le levier d'itinéraire, cames qui sont orientées à droite ou à gauche suivant que l'aiguille est à droite ou à gauche dans l'itinéraire. Suivant leur position, ils établissent le circuit de commande en agissant sur des commutateurs qui ferment les circuits de moteur d'aiguille voulus. On se rend compte, d'après la figure 2, que la ma-

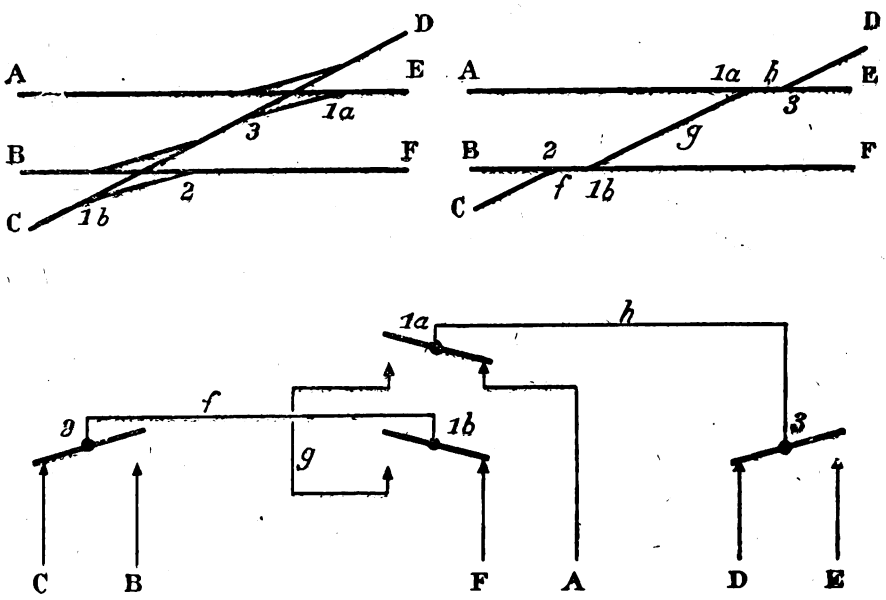


Fig. 3.

nœuvre d'une came A à la position active *a* déplace le plan à gauche et que le plan enclenche à cette position la came de l'arbre C, d'un itinéraire qui comporterait la même aiguille à droite et qui, par conséquent serait incompatible avec le premier. L'itinéraire B, qui comporte l'aiguille à gauche, n'est pas incompatible avec A du fait de cette aiguille.

L'étude des enclenchements se réduit à l'établissement d'un tableau à double entrée, dans lequel chaque colonne représente un arbre d'itinéraire et chaque ligne un plan d'aiguille. Le combinateur, c'est-à-dire l'ensemble de toutes les commandes, n'est autre chose que la réalisation mécanique d'un tel tableau.

Digitized by Google

La commande des aiguilles se fait par des moteurs qui coupent eux-mêmes mécaniquement à fin de course leur circuit d'alimentation, en dirigeant le courant qui vient d'être utilisé pour la manœuvre vers un conducteur de contrôle revenant dans le poste.

Les relais de contrôle indiquent *en permanence* la position des appareils et de leur commande ; les relais d'aiguille, par exemple, dont les circuits sont fermés par un contact placé sur l'aiguille elle-même indiquent la position de celle-ci. Si cette position est intermédiaire (aiguille entrebâillée), ils actionnent un double signal optique et sonore donnant l'indication du danger.

Ces relais servent également à la constitution des circuits d'itinéraire que doit parcourir le courant destiné à la commande des signaux; chaque conducteur électrique représente une voie et chaque armature de relais une aiguille. Le circuit d'itinéraire ne peut être fermé que si tous les relais, donc toutes les aiguilles d'itinéraire (fig. 2) sont commandés dans la bonne position. Les moteurs des signaux sont commandés dans les mêmes conditions que les moteurs d'aiguille. Ils possèdent un accouplement magnétique tel que, à la rupture de la moindre condition qui concourt à sa mise à voix libre, le signal se ferme sous l'action de son contrepoids.

Enfin, pour compléter la sécurité et éviter la manœuvre sous les trains ainsi que la destruction des enclenchements de protection, les leviers sont maintenus et verrouillés au retour dans la position de travail quand un train se trouve sur l'itinéraire qu'ils commandent. Pour maintenir les leviers à cette position où les enclenchements sont maintenus, un verrou électrique alimenté par un système à circuit de voies ne sera sous tension que si la section est libre ; alors seulement son armature est attirée et permet la manœuvre du levier correspondant. En cas d'occupation de la section, l'armature du relais privé de courant tombe et maintient le levier enclenché. Il en est de même si le signal commandé à la fermeture après passage des trains, n'a pas été effectivement fermé.

Pour les postes électriques de commande d'aiguillage, l'emploi du courant continu présente des facilités plus grandes que le courant alternatif, du fait que la batterie d'accumulateurs n'a pas de défaillance comme peut en avoir un secteur. Cependant, la Société l'Aster installe actuellement des postes sur voies électrifiées où, pour des raisons de sécurité, le courant continu est absolument proscrit sur le terrain. Enfin, en présence des résultats acquis, M. Courel indique que les constructeurs français se sont montrés parfaitement à la hau-

Digitized by Google

teur de leur tâche et ont traité les problèmes posés avec une clarté et une simplicité dans la sécurité qui ne se rencontrent nulle part à l'étranger. Les appareils en service ne donnent lieu à aucune critique.

En remerciant M. COUREL, M. PÉRIDIER établit un rapprochement entre la technique de la signalisation et celle des sécurités appliquées aux sous-stations et postes automatiques.

M. PRACHE attire l'attention sur ce point, que les Compagnies de chemins de fer ont tendance à multiplier à l'excès les moyens de contrôle, du fait de l'application de l'électricité, et qu'en opérant ainsi, on multiplie les chances de mise à l'arrêt des signaux.

Lignes de distribution en fer.

L'enquête menée par le Syndicat Professionnel des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique, présente une conclusion très nette : l'utilisation du fer ne semble pas intéressante dans les lignes à basse et même à haute tenion. M. OURSON signale que la question avait été soulevée au sujet de la possibilité d'utiliser le fer comme conducteur neutre d'un circuit basse tension.

M. VALENSI indique qu'il a réalisé quelques lignes haute tension en fer, mais ces lignes n'avaient qu'une très faible longueur : 1 à 2 km.

M. DAGUERRE fait remarquer que l'Administration des P. T. T. semble vouloir renoncer aux lignes en fer, car dans les constructions de lignes nouvelles, on constate que, seul, le cuivre est à peu près exclusivement employé.

Enfin, M. BRYLINSKI fait observer que l'économie pouvant résulter de l'emploi du fer au lieu du cuivre, n'est qu'une économie apparente, si on tient compte des pertes en ligne et des soins très minutieux de main-d'œuvre que demande l'établissement d'une telle ligne.

Comme conclusion, on peut admettre que l'emploi des lignes en fer :

1° n'est pas à recommander pour les lignes de distribution à basse tension ;

2° peut être adopté pour les lignes à haute tension, mais pour des lignes très courtes, peu chargées, et que les soins d'établissement absorbent en grande partie l'économie réalisée ;

3° peut trouver couramment son application comme câble de terre dans les distributions à très haute tension.

Digitized by Google

OUVRAGES OFFERTS A LA SOCIÉTÉ (1)

PRODUCTION ET UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Les Alternateurs industriels, par L. BARBILLION, Professeur à l'Université de Grenoble, Directeur de l'Institut Electrotechnique, et P. BERGEON, Ingénieur, Professeur à l'Institut Electrotechnique de Grenoble — Paris, Albin Michel, 1927; un vol broché $26^{cm} \times 16^{cm},5$, de 278 pages, avec 239 figures et 8 planches hors texte. (« Bibliothèque de l'Ingénieur Électricien-Mécanicien »). (Don de l'éditeur).

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE. — TRANSMISSION PAR ONDES

Groupement amical des Amateurs de T. S. F. de Valenciennes. — *Son Origine. Son Œuvre Ses Projets. Statuts. Conseils aux Amateurs et Usagers de la T. S. F.* — Anzin, Imprimerie Wœlfflé Ricouart, (1927); une brochure $24^{cm} \times 16^{cm}$, de 24 pages. (Don de M. G. Flayelle).

MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURE.
COMPTEURS. — ESSAIS DE MACHINES.

La pratique des Essais de Machines, par M. BOYER-GUILLON, chef de service principal au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, Professeur à l'Ecole supérieure d'Aéronautique et de Construction mécanique, Professeur Assistant à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines. — Paris, Dunod, 1927; un vol broché $25^{cm} \times 16^{cm},5$, de VII-319 pages, avec 145 figures et 1 tableau hors texte. (Don de l'éditeur).

GÉNÉRALITÉS. — ETUDES THÉORIQUES. — RECHERCHES PHYSIQUES.

Linkage-Current diagram for representing Magneto Operation, by F.-B. SILSBEE and D. W RANDOLPH. (Scientific Papers of the Bureau of Standards, N° 543). — Washington, Government Printing Office, 1927; une brochure $25^{cm} \times 17^{cm},5$, de 53 pages, avec 22 figures. (Don du Bureau of Standards).

Effect of eddy currents in a core consisting of circular wires, by Chester SNOW. (Scientific Papers of the Bureau of Standards, N° 544). — Washington, Government Printing Office, 1927: une brochure $25^{cm} \times 17^{cm},5$, de 25 pages, avec 5 figures. (Don du Bureau of Standards)

Données numériques d'Electricité, Magnétisme et Electrochimie, rédigées par le Docteur A. BUFFAT (Paris); Docteur G. 1. HIGSON et K GORDON (Londres); M. MALAPERT, Ingénieur (Paris). Préface de G. SEMENZA, Président de la Commission Electrotechnique Internationale. — Extrait du volume V des *Tables annuelles de Constantes et Données numériques*. Années 1917-1918-1919-1920 1921-1922. — Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1926; un vol. broché $27^{cm} \times 22^{cm}$, de 192 pages. (Don de l'éditeur).

---

(1) Ces ouvrages peuvent être consultés à la Bibliothèque de la Société française des Electriciens, 14, rue de Staël, de 14 à 17 heures, tous les jours. sauf le Dimanche.

Digitized by Google

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES OFFERTS

Publication subventionnée par la Confédération des Sociétés scientifiques françaises à l'aide des fonds alloués par le Parlement.

APPAREILLAGE

Alternating current rectification and allied problems, by L. B. W. JOLLEY London. Chapman and Hall Ltd 1926, un volume relié toile, 22 cm × 14 cm de XXII-472 pages, avec 340 figures dans le texte et hors texte. (Don de l'Editeur).

Les procédés employés pour redresser le courant alternatif sont d'ordres très divers. Il en résulte des renseignements assez épars, souvent peu coordonnés et manquant de comparaisons faciles entre eux. Le livre de M. Jolley a pour but de remédier à cet inconvénient et le lecteur y trouvera la description des diverses méthodes parues, disposées selon un plan uniforme.

En général, l'auteur a surtout développé le calcul analytique ; un grand nombre de courbes traduisent clairement les résultats. Beaucoup d'appareils sont décrits et montrés par des figures.

Un premier chapitre est relatif à l'analyse des formes d'ondes. Les appareils de rectification d'ordre mécanique (2e partie), comprennent d'abord les commutatrices et appareils analogues et, en général, les dispositifs synchrones tournants et oscillants.

La troisième partie contient l'exposé de la conduction gazeuse : arcs à mercure, tubes à vide ou redresseurs thermioniques, tubes à gaz, décharge entre pointe et plaque, flamme vibrante, effluves, appareils photoélectriques, effet Hall.

La quatrième partie se rapporte à la conduction liquide, avec les redresseurs électrolytiques, et la cinquième partie traite des redresseurs pour radiocommunications. Enfin, viennent quelques renseignements sur la question inverse, celle de la transformation du courant continu en courant alternatif.

D'une manière générale, cet ouvrage est clair ; il constitue un logique exposé de la question qu'il traite. Nous ferons seulement une petite observation au sujet de la bibliographie et des références aux auteurs. Le rôle des électriciens français a été réduit à un minimum d'apparence ; nous le voyons immédiatement en constatant que le nom de Maurice Leblanc qui devrait revenir si souvent en un tel livre, presque dans tous les chapitres, se montre timidement une seule fois, dans un petit bout de ligne d'un index de fin de chapitre, sous cette forme : B-1913-639 — Leblanc — S. I. B. V. 3 p. 11.

En opposition, nous trouvons une longue description de la transformation du nombre de phases, à propos d'un nouvel appareil dit transverter, qui ne dit pas que ce procédé de multiplication est dû à Leblanc ; ce transverter lui-même, n'est pas signalé comme ce qu'il est : une simple adaptation d'une des formes de panchahuteur... Rien non plus, en ce qui touche la transformation de continu en alternatif...

Digitized by Google

IL Y A 30 ANS

I. — Réunion du 2 juin 1897.

Présidence de M. d'Arsonval.

M. Georges Claude démontre expérimentalement que les difficultés dans le *réglage des lampes à arc à courant alternatif*, dues à la self inductance, peuvent être facilement surmontées par l'emploi de condensateurs.

M. R. Arnoux décrit les *nouveaux voltmètres et ampèremètres enregistreurs à sensibilité variable*, qu'il a étudiés avec M. R. Chauvin. Ces appareils constitués d'un câble galvanométrique mobile, entre les branches d'un aimant permanent peuvent fonctionner, comme voltmètres, sous des tensions de 1,5 à plusieurs milliers de volts. Comme ampèremètres ils peuvent, avec les shunts Chauvin-Arnoux, enregistrer des courants compris entre 0,5 et 5 000 V. Le mouvement d'horlogerie entraînant le cylindre est muni d'un régulateur électromagnétique ; une variation d'un dixième de la force motrice du ressort du barillet ne produit qu'une variation d'un centième. Sous la vitesse de rotation du cylindre, M. Pérot présente *un voltmètre électrostatique interférentiel pour étalonnage*, construit sur ses indications et sur celles de M. Fabry. Cet appareil, établi pour 70 V, est un appareil de zéro, permettant de ramener à un aspect donné les interférences produites par un rayon lumineux, traversant des lames de verre argentées. Celles-ci sont reliées respectivement aux deux bornes du voltmètre à étalonner. La lecture est la même, que la tension à mesurer soit continue ou alternative de fréquence 60 p : s.

II. — Extrait du Bulletin.

La conférence de M. Hospitalier sur les *automobiles électriques* parue au Bulletin de mai, est complétée par la reproduction des clichés de véhicules qu'il avait projetés en séance et par l'indication de leurs caractéristiques.

Le conférencier terminait ainsi : « on peut affirmer sans crainte d'être mauvais prophète, que le siècle prochain inaugurera l'usage universel du fiacre électrique. »

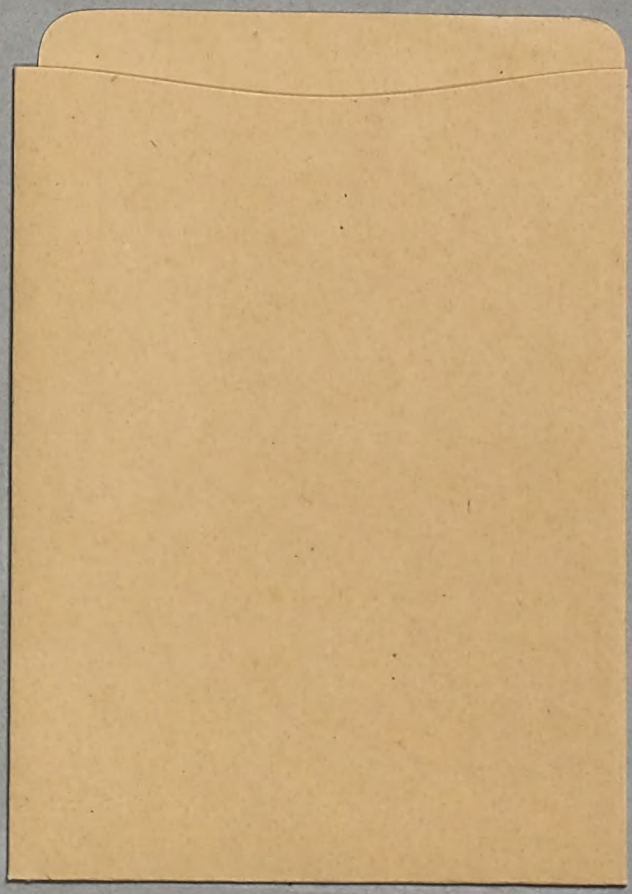
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Date Due



Digitized by Google

The Ohio State University
3 2435 06228934 3
OHIO STATE UNIVERSITY BOOK DEPOSITORY
8 03 12 28 8 06 002
Digitized by Google